

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

UNIDAD DE POST-GRADO

Desarrollo de material élite de yacón (*Smallantus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob.) mediante técnicas de mejoramiento genético

TESIS

**Para optar al Grado de Magister en Productos Naturales y
Biocomercio**

AUTOR

Diana Pamela Vegas Albino

ASESORA

Olga Bracamonte Guevara

Lima – Perú

2015

A mis tres ángeles en el cielo Virginia, Sergio y Alejandrina.

A mis padres Nélida y Juan por su apoyo.

A mi hermana Vanesa Paola por creer en mí.

A mi tío Juan por inculcarme desde pequeña mi vocación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por ser mi alma mater y albergarme entre sus aulas.

Por todo el apoyo brindado y por promover el desarrollo de la investigación a la empresa Andean Roots S.R.L.

A Luis Alva Palacios (Gerente General de Andean Roots S.R.L.), por permitirme realizar el trabajo de tesis y brindar su apoyo.

Al MSc. Ivan Manrique Carrillo, por su apoyo incondicional y los conocimientos brindados durante el desarrollo de la investigación, para culminar con éxito este trabajo de tesis, y por los valiosos consejos que me han permitido desarrollarme como profesional en este campo.

A la MSc. Olga Bracamonte Guevara, por su apoyo incondicional, por sus consejos y conocimientos en el área, que me permitieron finalizar exitosamente esta investigación.

A la Dra. Amparo Zavaleta Pesantes, por su brindarme su apoyo para culminar con éxito este proceso.

Al Dr. Misael Guevara Paredes, por compartir sus conocimientos y consejos en este campo de investigación.

A la Dra. Luisa Negrón Ballarte y al Mg. José Olivera García, por sus valiosas observaciones.

A mis maestros, por el apoyo y la enseñanza brindada en estos años de formación académica y personal.

INDICE GENERAL

i

Lista de Tablas	iv
Lista de Figuras	vi
Resumen	viii
Abstract	iv
Capítulo 1: Introducción	1
Capítulo 2: Marco Teórico	4
<i>Generalidades</i>	4
<i>Origen y Distribución</i>	6
<i>Antecedentes Históricos del Yacón</i>	6
<i>Conocimientos Tradicionales del Yacón</i>	11
<i>Descripción Morfológica del Yacón</i>	14
<i>Número Cromosómico</i>	27
<i>Biología floral y Sistema Reproductivo</i>	29
<i>Composición química de la planta del yacón</i>	31
<i>Importancia del cultivo del yacón</i>	34
<i>Técnicas de mejoramiento genético</i>	36

<i>Importancia de la caracterización morfológica dentro de un programa de mejoramiento genético</i>	40	ii
Capítulo 3: Hipótesis y Objetivos	44	
Capítulo 4: Materiales y Métodos	46	
<i>Material Vegetal</i>	46	
<i>Mejoramiento del germoplasma de yacón por hibridación</i>	47	
<i>Selección masal del material híbrido</i>	49	
<i>Caracterización Morfoagronómica</i>	50	
<i>Catálogo Fotográfico</i>	52	
<i>Análisis Morfológico</i>	52	
Capítulo 5: Resultados	53	
<i>Caracterización morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales en las cruas de hibridación</i>	53	
<i>Resultados del plan de cruzamiento de yacón</i>	56	
<i>Caracterización morfológica de los individuos de yacón obtenidos del plan de cruzamiento</i>	59	
<i>Comparación agronómica entre los parentales y los individuos de yacón obtenidas del plan de cruzamiento</i>	64	

Capítulo 6: Discusión de Resultados	67
	iii
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
<i>Anexo 1: Descriptores Morfológicos de Yacón (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) de Arbizu et al., 2001</i>	85
<i>Anexo 2: Catálogo Fotográfico: Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales: Testigo, V4, V11, V18, V24 y V28</i>	88
<i>Anexo 3: Catálogo Fotográfico: Caracterización Morfológica de los Híbridos de yacón (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)</i>	98
<i>Anexo 4: Análisis Estadístico de los Híbridos de Yacón</i>	133

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1. Datos passaporte del material genético seleccionado de *Smallanthus sonchifolius* para la instalación de los ensayos experimentales.

Tabla 2. Plan de cruzamientos en yacón para Ambo, Huánuco.

Tabla 3. Caracterización morfológica de las 6 accesiones parentales de yacón.

Tabla 4. Cruzamientos realizados, tipos de cruza, número de semillas trasplantadas a campo y número de individuos determinados por selección masal y evaluados por cada cruzamiento.

Tabla 5. Número de plantas obtenidas por cada cruzamiento.

Tabla 6. Caracterización morfológica de las 68 accesiones obtenidas a partir de los cruzamientos de acuerdo a los descriptores morfológicos de Arbizu et al, 2001 y el status de hibridación.

Tabla 7. Rendimiento (Kg/planta) de los parentales y de las 68 accesiones obtenidas a partir de los cruzamientos.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Distribución geográfica del cultivo de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en el Perú.

Fig. 2 Tradicional consumo del yacón durante la cosecha por los agricultores y sus familias. Los niños son los primeros en recibir esta raíz en recompensa por su apoyo en pequeñas labores durante la cosecha

Fig. 3 Ilustración morfológica de la planta del yacón, indicando con flechas las siguientes partes: cepa o corona, hojas, tallo, inflorescencia y raíz reservante.

Fig. 4 Cepas o coronas extraídas durante cosecha, también conocidas como “mocras” por la población local, trozadas y listas para ser usadas como semillas vegetativas.

Fig. 5. Disposición opuesta de las hojas de yacón a lo largo del tallo, descripción morfológica característica de esta planta.

Fig. 6 Principales formas de lámina de hoja: Triangular hastada (A y C), Triangular truncada (B). Cordada (D).

Fig. 7 Individuo que consta de varios tallos, debido a que su origen es propio de una sola semilla vegetativa o “mocra”.

Fig. 8 Características del tallo de yacón: Cilíndrico, piloso y hueco (A). Varía entre el color verde (B) y el color púrpura (C), lo cual permite diferenciar entre variedades en campo, al ser una característica específica de cada una de estas.

Fig. 9 Características de la inflorescencia: Rama floral terminal dicásica, compuesta por inflorescencias o también denominadas capítulos o cabezuelas (algunos son señalados con flechas) (A). Parte apical de la rama que presenta 4 capítulos señalados por flechas, donde

uno de estos se encuentra abierto (B). Capítulo acampanado y hemisférico (C1), con bractéas involucrales señaladas por flechas, que varían entre 5 (C2) a 6. Pedúnculos que sostienen a cada uno de los capítulos (señalados por flechas), cuyo tamaño varía entre 35 a 37 mm (D).

Fig. 10 Capítulo en el que se muestran solo las flores femeninas distribuidas en verticilo externo, siendo la parte más vistosa y colorida de la planta por el llamativo amarillo de cada una de las lígulas (algunas señaladas por flechas) (A). Capítulo de yacón, con la exposición solo de las flores masculinas, donde la parte amarilla es el estilo de cada flor; además, entre estos se encuentran las anteras, que se observan a forma de puntos negros (B).

Fig. 11 Características de la lígula: Tridentada (A) y bidentada (B). Además, en ambos casos se puede observar si ensanchamiento en la parte media (señalado por flechas) (A y B).

Fig. 12 Formas de la lígula: Oblonga (A), ovado-elíptica (B) y elíptica (C); característica de cada variedad de yacón. Puede llegar a medir entre 11 a 14 mm.

Fig. 13 Raíz reservante de yacón entera, donde observa su morfología similar a la del camote. Corte longitudinal y corte transversal de la raíz, donde se evidencia el color blanco propio de la pulpa de una de las variedades de yacón.

Fig. 14 Teoría de la aloploidia del yacón según Ishiki et al. (1997), donde se manifiesta que esta planta está compuesta por 2 genomas: A y B. Además, se presentan a los dos padres putativos del yacón: *S. macroscyphus* o *S. riparius*, donde este último sufre una reducción de cromosomas que dan como resultado un hexaploide, que al cruzarse con un tetraploide, este último reduce su número cromosómico, dando lugar a un octoploide

6A+2B, que es finalmente la estructura dominante en la mayoría de clones de *Smallanthus sonchifolius*.

Fig. 15 Capítulo de yacón polinizado, correctamente etiquetado y cubierto con una malla para evitar la presencia de polinizadores (A). Capítulo seco de yacón listo para coleccionar y ser trasladado a Lima (B).

Fig. 16. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor 3: Ramificación de tallos.

Fig. 17. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor 4: Color de follaje.

Fig. 18. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor 5: Pigmentación de la nervadura (envés).

Fig. 19. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor 6: Pigmentación de la hoja apical.

Fig. 20. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor 7: Forma de la lámina y base.

Fig. 21. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor 8: Borde de la Lámina.

Fig. 22. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor 14: Color de la superficie de la raíz reservante, Descriptor 15: Color de la pulpa de la raíz reservante y Descriptor 16: Tendencia a formar hendiduras en las raíces reservantes.

Fig. 23. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor 17: Color de los propágulos.

RESUMEN

viii

En los meses de febrero y marzo del 2012, se realizaron cruzamientos entre seis accesiones de yacón: Testigo, V4, V11, V18, V24 y V28, originarias del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), mediante un diseño de cruza dialélicas directas y recíprocas. A partir de estos cruzamientos se obtuvieron 162 semillas viables, de las cuales por medio de la técnica de mejoramiento genético de selección masal se escogieron 68, las cuales se germinaron y produjeron 834 plantas adultas. El objetivo del presente trabajo es caracterizar morfológicamente los parentales y las plantas obtenidas a partir de los cruzamientos dialélicos para identificar la diversidad obtenida y para confirmar la naturaleza híbrida de estas. Tres descriptores morfológicos de raíz fueron usados para caracterizar a los parentales y los 834 supuestos híbridos. Finalmente, se obtuvieron 44 híbridos, 8 plantas con hibridación no determinada al no identificar si existió cruza pero heredando solo los caracteres del progenitor femenino o son replicas de este, 9 plantas con un origen híbrido no específico al no poder determinarse si existió hibridación heredando caracteres compartidos por ambos progenitores o solo caracteres del progenitor femenino o no, 7 plantas cuyo progenitor masculino no es el correspondiente a la cruza, 2 replicas de 3 híbridos y 1 replicación de 1 de las 9 plantas con un origen híbrido no específico también presentan un progenitor masculino diferente al de su cruza. Se observó precocidad del parental V24, la pérdida del carácter de moteaduras irregulares púrpura rojizo (indicador de antocianinas) en las 44 plantas con parentales que presentaban este carácter y el bajo rendimiento de las plantas obtenidas a partir de los cruzamientos.

Palabras clave: Híbrido, caracterización morfológica, germoplasma, diversidad genética, descriptor.

ABSTRACT

ix

In the months of February and March 2012, crosses between six accessions of yacon germplasm were made: Testigo, V4, V11, V18, V24 and V28, originating from the National Institute of Agrarian Innovation (INIA), with a design of direct and reciprocal diallel crosses. From these crosses 162 viable seeds were obtained, which by means of the genetic improvement technique of mass selection were selected 68, which were germinated and grown producing 834 plants. The aim of this study is morphologically characterize parental and plants obtained from the diallel crosses to identify the variety obtained and to confirm the hybrid nature of these. Three root morphological descriptors were used to characterize the parental and 834 putative hybrids. Finally 44 hybrids were obtained, 8 plants with no specific hybridization to no identify if there was cross but inheriting only the characters of the female parent or are replications of this, 9 plants with a non-specific hybrid origin unable to determine whether there was hybridization inheriting shared characters by both parents or single characters of the female parent or not; 7 plants whose male parent is not corresponding to the cross, 2 replications of three hybrids and one replication 1 of 1 of 9 plants with a non-specific hybrid origin also presented a different male parent. The parental V24 showed precocity, the loss of irregular reddish purple specks (anthocyanins indicator) was observed in 44 plants with parental that has this character and the low yield of the plants obtained from crosses.

Key words: Hybrid, morphological characterization, germplasm, genetic diversity, descriptor.

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

*La región andina es cuna de un gran número de cultivos alimenticios que fueron domesticados por pueblos autóctonos hace miles de años, inclusive mucho antes de la expansión de la civilización Inca. Con el transcurso del tiempo, algunos de estos cultivos han adquirido importancia global, como la papa. La mayoría, sin embargo, son poco conocidos internacionalmente y aun en los mismos países andinos. Entre estos cultivos destacan frutales y granos y particularmente nueve especies de “raíces y tubérculos andinos” (RTAs), cada una perteneciente a una familia botánica distinta. Estas especies son: la achira (*Canna edulis*), la ahipa (*Pachyrhizus ahipa*), la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), la maca (*Lepidium meyenii*), el yacón (*Smallanthus sonchifolius*), la mashua o isaño (*Tropaeolum tuberosum*), la mauka (*Mirabilis expansa*), la oca (*Oxalis tuberosa*) y el ulluco o papalisa (*Ullucus tuberosus*)(...) Todas ellas son usadas por los pobladores*

andinos rurales en su alimentación y forman parte de su cultura y son especialmente importantes para la subsistencia de los pobladores más pobres. (Seminario, 2004 citado por Flores, 2010, p. 14).

2

El yacón es uno de los cultivos priorizados por el Proyecto Perubiodiverso y es considerado un “cultivo para el futuro” por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), debido a las diversas propiedades que posee entre las cuales se pueden destacar aquellas que provienen de la raíz, ya que esta planta concentra sus principales propiedades en esta, como es la presencia de fructooligosacáridos (FOS) los cuales son azúcares que se metabolizan en el organismo como fibra soluble aportando menos cantidad de carbohidratos que los azúcares comunes, evitando además la elevación de la glucosa en sangre (Muñoz, 2009 y Perubiodiverso, 2006).

Este cultivo presenta una raíz muy similar al camote y a la yuca, sin embargo, esta puede ser consumida de forma fresca como una fruta, gracias a su alto contenido de agua y azúcares especiales denominados fructooligosacáridos (FOS), los que generan una sensación refrescante en el consumidor, y que el habitante andino utiliza para aplacar la sed durante el trabajo. Los FOS, son un tipo especial de azúcares que se consideran beneficiosos para la salud humana, debido a su propiedad de no poder ser digeridos directamente por nuestro organismo, por la falta de enzimas necesarias para su metabolismo, por tener pocas calorías y por no elevar el nivel de glucosa en sangre (Pereira et. al., 2012); lo cual ha convertido al yacón en un recurso importante en el mercado de los productos dietéticos y de las personas que padecen diabetes. Además, la inclusión de esta especie en el mercado de los alimentos nutracéuticos o funcionales que se encuentra en

expansión es favorable, ya que independientemente de su valor nutritivo ejerce un efecto favorable sobre la salud del consumidor (Seminario et al., 2003).

Cultivar yacón es una oportunidad potencial para satisfacer la demanda de alimentos bajos en calorías y para incrementar los efectos positivos en la salud de aquellas personas que llevan cada día una vida más sedentaria así como de los que padecen de diabetes; sin embargo, la demanda por conocer aspectos básicos y específicos del yacón aún no ha sido cubierta por la carencia de investigaciones sobre este cultivo. Con esta investigación se busca ampliar los conocimientos sobre la generación de variedades mejoradas de yacón en cuanto a propiedades y estándares de calidad, rendimiento en campo, concentración de antocianinas, concentración de FOS, etc.

CAPÍTULO 2:

MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades

El yacón, está clasificado según la nomenclatura científica como *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, debe su nombre a que Robinson (1978) determinó que muchas de las especies del género *Polymnia*, al cual perteneció anteriormente el yacón debido a la clasificación de Wells en 1965, pertenecían en realidad al género *Smallanthus* propuesto por Mackensie (1933). El yacón, es una de las 21 especies pertenecientes al género *Smallanthus*, de las cuales 7 han sido encontradas en Perú; además, pertenece a la familia Asteraceae, también llamada Compositae. En nuestro país estas siete especies son: *S. fruticosus* (Benth.) H. Robinson, *S. glabratus* (DC.) H. Robinson, *S. jelksii* (Hieron.) H. Robinson, *S. parviceps* (Blake) H. Robinson, *S. riparius* (H.B.K.) H. Robinson, *S.*

siegesbeckius (DC.) H. Robinson, *S. sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Seminario et al., 2003).

A través del tiempo el yacón ha recibido diversos nombres comunes, por ejemplo en términos Aymaras utilizados en la zona de Bolivia es denominado *Aricoma* y *Aricuma*; en quechua el yacón es conocido como *llaqom*, *llacum*, *llacuma* o *yacumpi*, donde *yacu* y *unu* significan “agua” y *yakku* es un adjetivo que significa aguachento o insípido. En Ecuador esta especie es conocida como *jicama*, *chicama*, *shicama*, *jíquima* o *jiquimilla*, término que parece derivado de *xicama*, nombre comúnmente utilizado en México para definir al nabo (*Pachyrhizus erosus*) el cual puede haber sido acuñado cuando los conquistadores arribaron a los Andes procedentes de Centro América. Por otra parte, el yacón es conocido como *arboloco* en Colombia, mientras que también ha recibido términos acuñados por europeos como *poire de terre* (Francés) y *yacon strawberry* (Inglés) (Grau y Rea, 1997 citado por Polanco, 2011, p.19). Así mismo, en Venezuela y algunas partes de Colombia es conocido como *jiquima* y *jiquimilla*. Una modificación más del término yacón es *racón*, como es conocido en Ancash, y *yacumi* como es conocido en diversas partes del centro del Perú. En el norte del Perú se le denomina *llacón* y *llakwash*, este último término es propio de Incawasi (Ferrenafe, Lambayeque) que significa alimento aguanoso (Seminario et al., 2003). Según Rea (1998) citado por Seminario et al. (2003) indica que en el idioma chiriguano se le conoce como *ipio* en la frontera de Bolivia con Brasil, Argentina y Paraguay.

2.2 Origen y Distribución

6

El yacón es cultivado del sur de Colombia al norte de Argentina, entre los 1800 a 2800 msnm y es mantenido de forma *in situ*, por los pobladores quienes lo producen en sus tierras para abastecer el mercado local; también de forma *ex situ*, en los bancos de germoplasma de Bolivia, Ecuador y Perú (Svobodová et al., 2013).

Según Grau y Rea (1997), citado por Polanco (2011, p.19), el yacón tiene su origen en los Andes, cuando esta planta fue adaptada fácilmente a espacios libres sin vegetación empezó a colonizar habitas teniendo un estatus de mala hierba, pero que al descubrir sus propiedades, los campesinos cambiaron dicho estatus a planta manejable y más tarde a cultivable. Las primeras áreas que pudieron ser cubiertas por yacón son las laderas húmedas de los Andes occidentales, en la región comprendida entre el noreste de Bolivia y el centro del Perú; habiendo también manifestación de este en la zona de Ecuador, presumiéndose su llegada allí por la colonización Inca.

En nuestro país los principales lugares de cultivo de yacón son Amazonas, Cajamarca, Ancash, Huánuco, Pasco, Junín, Puno y Arequipa, como se detalla en la Fig. 1.

2.3 Antecedentes Históricos del Yacón

Perú, Bolivia y Argentina, son los principales países en donde se ha desarrollado la información histórica del yacón; ya que se ha establecido la presencia de esta raíz en las culturas de Nazca (500aC – 700dC), Paracas (1500 – 500aC) y Mochica (500aC – 700dC), en su cerámica, textiles y en fardos funerarios; de la misma forma en Argentina, asociado a la cultura Candelaria (1 – 1000dC) que se desarrolló en la provincia de Salta, donde existe

una localidad llamada “yacones”, lo cual es reflejo de su importancia regional (Flores, 2010).



Fuente: Comisión de Promoción del Perú para la exportación y turismo

Fig. 1 Distribución Geográfica del cultivo de Yacón (Smallanthus sonchifolius) en el Perú

Según Tafur (2010), citado por Polanco (2011, p.18), sostiene que en los relatos del Inca Garcilaso de la Vega, en los tiempos pre-hispánicos los habitantes del Tahuantinsuyo tenían la costumbre de no tomar agua, "los de mi tierra preferían ser azotados antes de beber agua corriente", pues tenían la concepción de que el agua era una Divinidad hermana gemela de la diosa Tierra. Los incas tenían temor de ser castigados porque el que bebía agua pura sufría enfermedades. Pero era imperiosa la hidratación del cuerpo humano, es así que ellos

consumían una raíz de yacón. Esta raíz era un cultivo obligado en los tiempos de los Incas, después del maíz y la papa, era el cultivo que establecía los límites de una propiedad.

En 1615, el cronista Huamán Poma de Ayala, menciona en la “Nueva Crónica y Buen Gobierno”: “(...) Y de los Yndios yungas de las comidas (...) “llacum” (yacón, raíz comestible); y lo incorpora a la lista de las 55 plantas cultivadas en los Andes, donde también incluye 8 plantas naturalizadas” (Flores, 2010).

Por otra parte, en 1653 Bernabé Cobo, quien era explorador, naturalista y científico jesuita, se refiere al yacón en “Historia del Nuevo Mundo” de la siguiente forma:

“La planta que produce la raíz llamada yacón es de un estado de alto, poco más o menos; echa un vástago o caña tan gruesa y más que el dedo pulgar, de color verde, áspera y vellosa; por de dentro, hueca y con ñudos a trechos que dividen los cañutos, que son largos de a palmo, y por los ñudos echan tres ramas más delgadas. La hoja es de particular hechura; nace del tallo o caña un pezón verde tan grueso como un cañón de ganso, de un palmo de largo, el cual está por los lados acompañado de una hojilla tan ancha como un dedo, que a lo largo nace de un mismo pezón, al remate del cual está asida la hoja, que es de formas de harpón; es triangular perfectamente y tiene una tercia de punta a punta, de modo que viene a tener de orilla o ruedo tres tercias; y háylas mayores y menores, como acontece en las demás plantas; es áspera, y por la parte alta vellosa, como la borraja. Cuando llega a sazón esta planta, produce en la cumbre de las ramas unas flores amarillas del talle de la manzanilla, salvo que son doblado mayores y tienen amarillas las hojitas que ciñen el botón. Tiene cada mata a tres, a seis, y a más raíces, las cuales son tan grandes como medianos nabos, más no adelgazan tanto como ellos hacia la

punta, dulces, aguanosas; por de fuera, de color de tierra, y por de dentro, blancas y tiernas como un nabo. Cómense crudas por frutas y tienen muy buen sabor, y mucho mejor si se pasan un poco al sol; suélnese cortar en ruedas y preparar de la misma suerte que el cardo, con su pimienta y naranja, y desta manera se parecen algo en el sabor al cardo. Es maravillosa fruta para embarcarla, porque dura mucho tiempo. Yo la he visto llevar por la mar y dura más de veinte días; y respecto de ser tan zumosa, se ponía más dulce y refrescaba mucho en tiempo de calor. Llámánla los indios de este reino, en la lengua quichua, yacón, y en la aymará, Arizona” (Flores, 2010).

Según Grau y Rea, (1997), y Seminario et al. (2003), citados por Polanco (2011, p.20), el cronista padre Bernabé Cobo (1953) produjo la más detallada descripción, en el que se señala el uso de la fruta y su capacidad para aguantar varios días de transporte por el mar. Aunque pobre en calorías, seguramente hacía un buen aporte de vitaminas y alimento fresco en el largo recorrido de vuelta a España.

En 1857, Wendell, colectó tipos de herbarios de yacón y nombró a la especie como *Polymnia edulis* (Polanco, 2011).

En 1931, el arqueólogo Toribio Mejía Xesspe, cita a esta raíz en su libro “Alimentos andinos: Sinfonía de sabores”, de la siguiente forma: “(...) Yacón (Aymara: yakuma, arikoachira) como una especie de papa silvestre. Se utiliza como camote. (...) Es más agradable cuando se come soleado. Por naturaleza es aguanoso como indica el nombre. La comida más común es yakuma k’usa” (Flores, 2010).

En 1933, Yacovleff E., indica que el yacón ha sido encontrado en casi todos los fardos funerarios de la cultura Paracas y que por tanto se presume que este es considerado como

una planta serrana; además, él cita a Cook (1916), quien informa que entre las plantas cultivadas en la meseta boliviana (1915) se consideran al yacón (*Polymnia sobnchifolia* Poepp. y Endl.) y la ajipa (cacara) (Flores, 2010).

En 1956, según Pérez Arbeláez, el yacón fue presentado por primera vez en Europa en la exhibición de París de inicios del siglo, sin embargo los europeos no mostraron mayor interés, instaurándose solo campos experimentales en Italia en 1930, los cuales desaparecieron durante la segunda guerra mundial (Polanco, 2011).

En 1960, Hans Horkheimer, publicó en Alemania el libro “Alimentación y Obtención de Alimentos en el Perú Pre-Hispánico”, el cual en 1973 fue traducido al castellano y publicado por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en el cual se incluye al yacón dentro del listado de Productos Alimenticios cultivados en el Perú Pre-Hispánico: “*Nombre popular: yacón. Nombre científico: Polimnia sonchifolia. Nombre en quechua: yacón, yakuma. Nombre en aymara: yakuma, Arikona*” (Flores, 2010).

En 1970; Sockup cataloga al yacón en su obra Vocabulario de los nombres vulgares de la flora peruana y catálogo de los géneros como Yacón: = *Smallantus mackenzia* (Flores, 2010).

En 1981, Santiago Erick Antúnez de Mayolo R., explica la alimentación prehispánica dando énfasis a la dieta inca, dentro de su libro “La nutrición del Antiguo Perú”; en el cual menciona que los incas consumían bulbos, raíces, rizomas y tubérculos denominadas féculas del suelo, en un 56% de su dieta diaria, mencionando también: “(...) Entre las raíces que fueron cultivadas en la antigüedad, aún se cultiva el llacón (llacjon, puhe, *Polimnia sonchifolia* P&E.)” (Flores, 2010).

En 1989, el investigador alemán H. Brücher menciona al yacón en su monografía sobre el uso de Plantas Neotropicales, incrementando así el interés de conocimiento sobre las plantas andinas, es así como el mismo año se publica “Los cultivos perdidos de los Incas” por la National Research Council. Desde entonces el yacón ha sido cultivado en Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón, Corea y Brasil; además ha ocupado un lugar en el Salón del Gusto, una exposición de alimentos de alta calidad organizada por Slow Food en Italia (Saralequi, 2006 citado por Polanco, 2011, p.20).

En 1997, Robinson, H. & Rea J. en su publicación “Andean roots and tubers Ahipa, arracacha, maca and yacón; Promoting the conservation and use neglected crops”, comentan sobre las colectas de especies botánicas del siglo XIX, dentro de las cuales mencionan que el yacón llamó la atención del botánico Weddell por el buen sabor de las raíces, motivo por el cual lo colectó y lo nombró como *Polymnia edulis* en su publicación en Am Sci. Nat.Bot. (V.7:114:1857) (Flores, 2010).

En 1999, el biólogo, ecologista e investigador peruano Antonio Brack cataloga al yacón como *Smallanthus sonchifolius* (P. y E.) H. Rob. en el Diccionario Enciclopédico de Plantas Útiles del Perú (Flores, 2010).

2.4 Conocimientos Tradicionales del Yacón

El término de “*Conocimiento Tradicional*” ha sido definido de diferentes maneras en el transcurso de los años, por ejemplo el Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992) cita en el artículo 8: “El término conocimientos tradicionales, se emplea en el sentido de conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades indígenas y locales que

entrañen estilos tradicionales de vida que interesan para la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica” (ONU, 1992).

El yacón ha sido empleado como fruta por los niños, también se prepara como miel o una especie de chancaca y chicha (mediante el proceso de fermentación) para las largas caminatas. Por otra parte, en San Miguel de Pallaques (Cajamarca), el follaje del yacón es empleado como forraje para los animales, lo cuales les permite mejorar el pelaje de estos; además, esta raíz permite rejuvenecer la piel de las personas y su cogollo cocido o en zumo permite incrementar la secreción láctea acompañado por yemas de rocoto y arracacha. Se ha sabido también mediante fuentes orales recopiladas por Arturo Paredes (guía del Museo de Arqueología, Antropología e Historia de la ciudad de Trujillo) que los Moche cultivaron productos agrícolas como maíz, yuca, achira, tabaco, coca, calabaza, quinua, yacón, pallares, ají, camote, olluco, papa, loche, frejol, maní zapallo y mashua entre otros, formando así parte de la gastronomía mochica. Además, en la Fiesta de las Cruces y la festividad de San Isidro Labrador del norte del país, el yacón es empleado como adorno; en Argentina y Cuzco se emplea en la celebración del Corpus Cristi; mientras que en Ecuador se consume durante los feriados del Día de todos los Santos y Día de los muertos (Flores, 2010).

Fortunato Herrera, botánico cuzqueño dice: *“los indios del Perú la consumen especialmente en las festividades del Corpus que han reemplazado en parte sus ceremonias del Cojapac –raimi”* (Cárdenas, 1950 citado por Flores, 2010).

La recopilación de 16 entrevistas realizadas y citadas por Flores en el 2010, señalan que el consumo principal de yacón es en estado fresco debido a su propiedad hidratante y al alto

contenido de potasio de la raíz; además, según Bernabé Cobo (cronista del siglo XVII) citado por Flores (2010), el yacón era comúnmente usado durante las travesías de altamar porque resultaba refrescante.

Por otra parte, debido a la experiencia propia durante la realización de este trabajo de tesis, los agricultores de la comunidad de Canchacaya (Ambo, Huánuco) tradicionalmente consumen el yacón durante la cosecha para calmar la sed, de modo que mientras las raíces son seleccionadas por las mujeres en campo, ellas y sus hijos consumen los yacones descartados que no serán comercializados por tener características defectuosas. Igualmente lo hacen los hombres que se encuentran en la faena (Fig. 2).



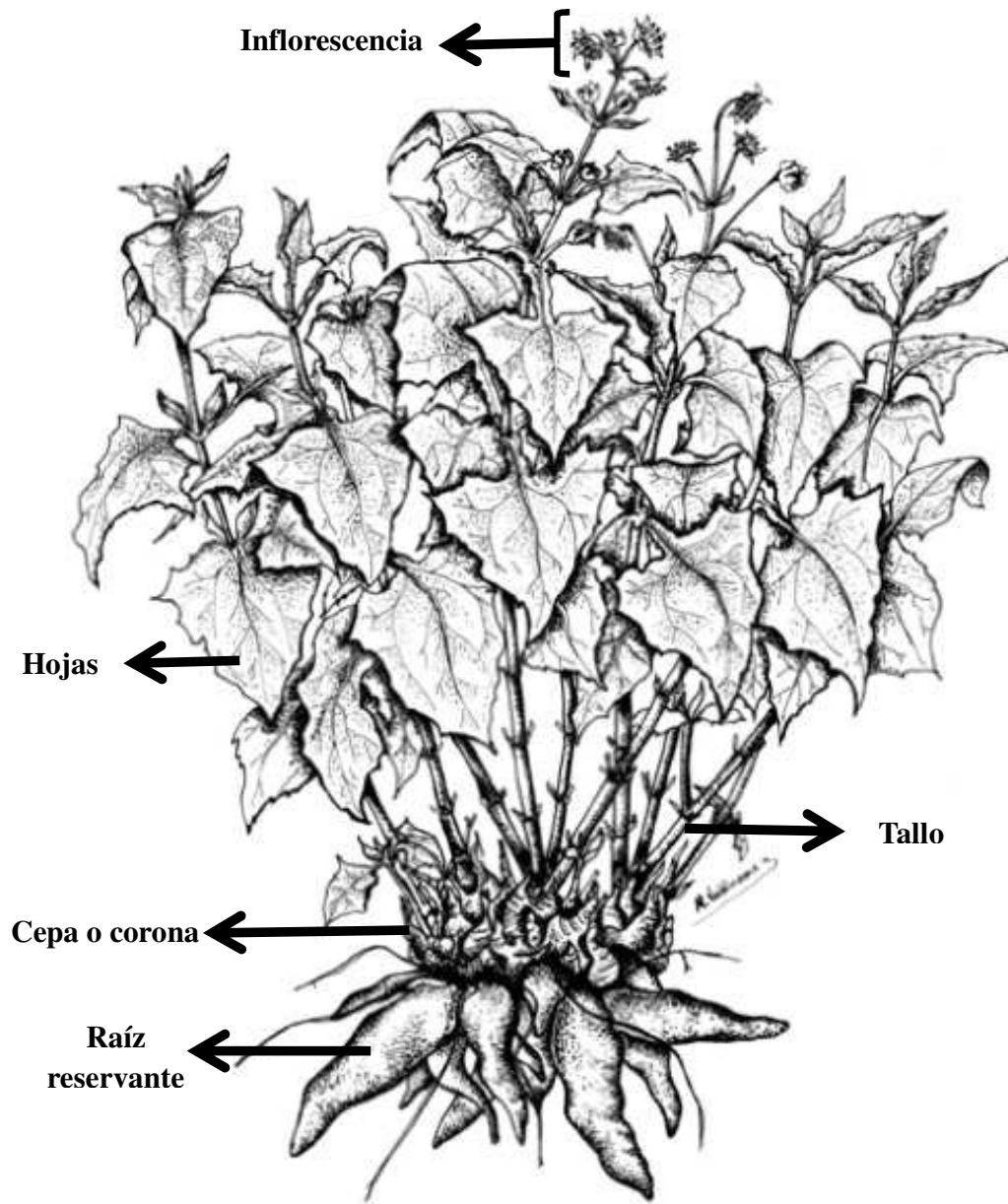
Fig. 2 Tradicional consumo del yacón durante la cosecha por los agricultores y sus familias.

Los niños son los primeros en recibir esta raíz en recompensa por su apoyo en pequeñas labores durante la cosecha

Además, es práctica común dejar al sol el yacón antes de consumirlo porque su dulzor se incrementa haciéndolo así más agradable (esto debido a que la concentración de azúcares se incrementa mientras que la de fructooligosacáridos disminuye). Desde el punto de vista medicinal, se conoce también que tiene una actividad benéfica sobre el hígado (hepatoprotectora) y que tradicionalmente es usado para casos de estreñimiento, ya que su contenido de agua y fibra aumenta el tránsito intestinal; también, se ha mencionado su uso para bajar el colesterol (actividad hipocolesterolémica). Sin embargo, parece que su principal uso ha sido para tratar problemas de diabetes, por su acción hipoglucemiante, recomendando consumir las raíces y las hojas, y en estas últimas se ha observado su acción solo cuando están secas mas no cuando están verdes. De igual modo, de acuerdo a los pobladores que lo consumen, manifiestan que es beneficioso para las infecciones estomacales y para la presión por su actividad antihipertensiva, del mismo modo, por el saber popular se conoce que es consumido como producto dietético por su bajo contenido calórico. También se indica que el yacón es empleado para afecciones de los riñones, hígado y para el caso de hinchazones (Polanco, 2011).

2.5 Descripción morfológica del yacón

La morfología del yacón está constituida por: cepa o corona, hojas, tallo, inflorescencia (flor femenina y flor masculina) y raíz reservante (Fig. 3), a continuación se describen cada una de estas partes.



Fuente: Seminario et. al., 2003

Fig. 3 Ilustración morfológica de la planta del yacón, indicando con flechas las siguientes partes: cepa o corona, hojas, tallo, inflorescencia y raíz reservante.

2.5.1 Ceba o corona

16

Es un órgano que se forma a partir del engrosamiento de la parte inferior del tallo que se encuentra bajo tierra y unida a las raíces, sobre el cual se desarrollan abundantes yemas vegetativas (Fig. 4), su tejido contiene sustancias de reserva como carbohidratos simples y fructooligosacáridos (FOS), los cuales posiblemente sirven de alimento a las yemas cuando estas van a brotar (Seminario et al., 2003).

De acuerdo a los pobladores locales de la zona, la cepa o corona o también denominada propágulo, es conocida también como “mocra”, la cual es utilizada a modo de semilla vegetativa; la mocra es trozada y cada una de las partes obtenidas es colocada en los surcos del nuevo terreno preparado, siendo la semilla de una nueva planta (Fig. 4).



Fig. 4 Cepas o coronas extraídas durante cosecha, también conocidas como “mocras” por la población local, trozadas y listas para ser usadas como semillas vegetativas.

2.5.2 Hojas

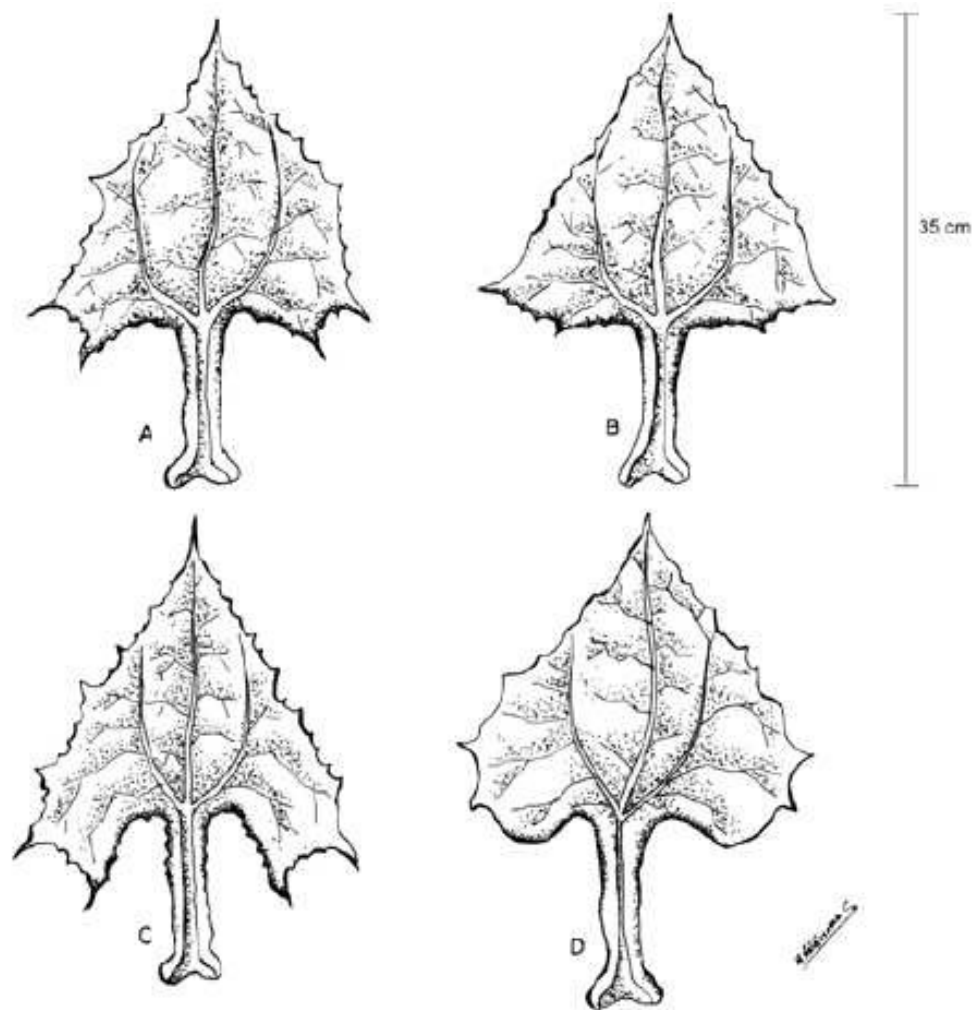
17

Las hojas se disponen de forma opuesta (Fig. 5); cuando la planta florea, cada tallo presenta entre 13 a 16 pares de hojas; después de este periodo solo produce hojas pequeñas. La forma de estas varía de una lámina triangular, de base trunca, hastada o cordada (acorazonada) (Fig. 6A, 6B, 6C y 6D) (Seminario et al., 2003).



Fig. 5. Disposición opuesta de las hojas de yacón a lo largo del tallo, descripción morfológica característica de esta planta.

Las formas de la lámina del yacón son características útiles para distinguir entre variedades de yacón, tal es así que estas formas facilitan el trabajo en campo cuando se requiere diferenciar entre parcelas, sobre todo en los límites donde colindan dos variedades diferentes, debido a que es el principal carácter morfológico, que sin necesidad de cosechar la raíz, nos permite diferenciar entre un individuo y otro.



Fuente: Seminario et. Al., 2003

Fig. 6 Principales formas de lámina de hoja: Triangular hastada (A y C), Triangular truncada (B). Cordada (D).

2.5.3 Tallo

La planta del yacón puede llegar a medir entre 1 a 2,5 metros de alto; además, puede poseer un solo tallo principal ramificado desde la base, o con solo ramas pequeñas en la parte superior, si la planta proviene de una semilla; no obstante, si proviene de

un propágulo o semilla vegetativa, la planta constará de varios tallos (Fig. 7). La planta en general presenta tallos cilíndricos, pilosos y huecos que varían entre el color verde y púrpura (Seminario et al., 2003) (Fig. 8).

En los cultivos trabajados en este estudio, cada individuo se desarrolló a partir de un propágulo o “mocra”, como se evidencia en la Fig. 7, en la cual se pueden observar varios tallos brotando de la tierra, por ser parte de una sola semilla vegetativa sembrada de esta variedad de yacón.



Fig. 7 Individuo que consta de varios tallos, debido a que su origen es propio de una sola semilla vegetativa o “mocra”.

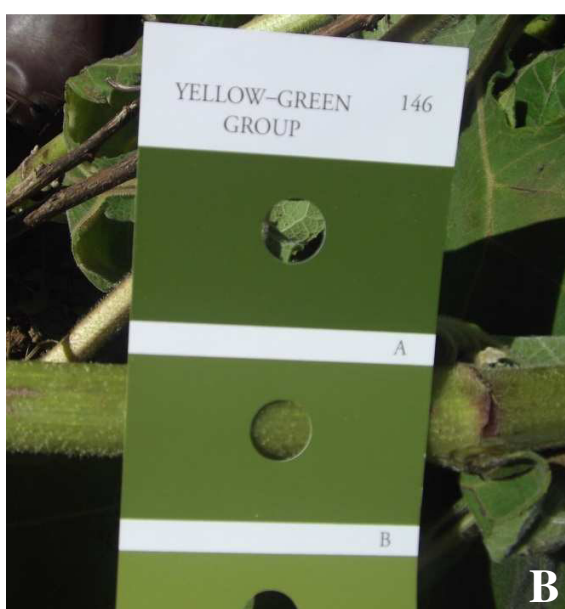


Fig. 8 Características del tallo de yacón: Cilíndrico, piloso y hueco (A). Varía entre el color verde (B) y el color púrpura (C), lo cual permite diferenciar entre variedades en campo, al ser una característica específica de cada una de estas.

2.5.4 La inflorescencia o capítulo o cabezuela

La rama floral es terminal de ramificación dicásica, compuesta por inflorescencias denominadas capítulos o cabezuelas (Fig. 9A y 9B). Una rama floral puede

presentar entre 20 a 40 capítulos, sin embargo una planta puede producir en total entre 20 a 80 capítulos. Cada uno de los capítulos está compuesto de 14 a 16 flores femeninas y entre 80 a 90 masculinas, las primeras se localizan en el verticilo externo siendo la parte más vistosa y colorida de la planta por el llamativo amarillo de la lígula. Por otra parte, las flores masculinas son tubulares y más pequeñas ubicadas en los verticilos internos del receptáculo. El involucre es acampanado y hemisférico, con bractéas involucrales (5 a 6) en una sola serie envolviendo al receptáculo (Fig. 9C). Uniendo al capítulo está el pedúnculo que mide unos 35 a 37 mm. (Seminario et al., 2003) (Fig. 9D).

Los capítulos del yacón, se caracterizan por presentar dentro de este, tanto la flor femenina (Fig. 10A) y la flor masculina (Fig. 10B), a continuación se describen las características de cada una de estas:

2.5.4.1 Flor femenina

La corola está formada por cinco pétalos (corola simpétala), donde tres de estos se encuentran formando la lígula, la cual es ensanchada en la parte media y puede ser bi o tridentada en el apical; sin embargo existen casos en el que los dientes resultan ser apenas visibles (Fig. 11A y 11B). Los otros dos pétalos se encuentran reducidos formando un pequeño tubo en la parte basal de la lígula. Rodeando la rama estigmática, en su parte externa y por encima del ovario, se inserta el papus o vilano, que son brácteas modificadas en pequeñas cerditas o pelos de color blanquecino. La lígula puede llegar a medir entre 11 a 14 mm y puede clasificarse en forma oblonga, ovado-elíptica y elíptica (Fig. 12A, 12B y 12C). El estilo es recto en los dos tercios inferiores, mientras que en el tercio superior se abre formando un

estigma bilabiado. El ovario es fusiforme a troncocónico, de color púrpura (Seminario et al., 2003).

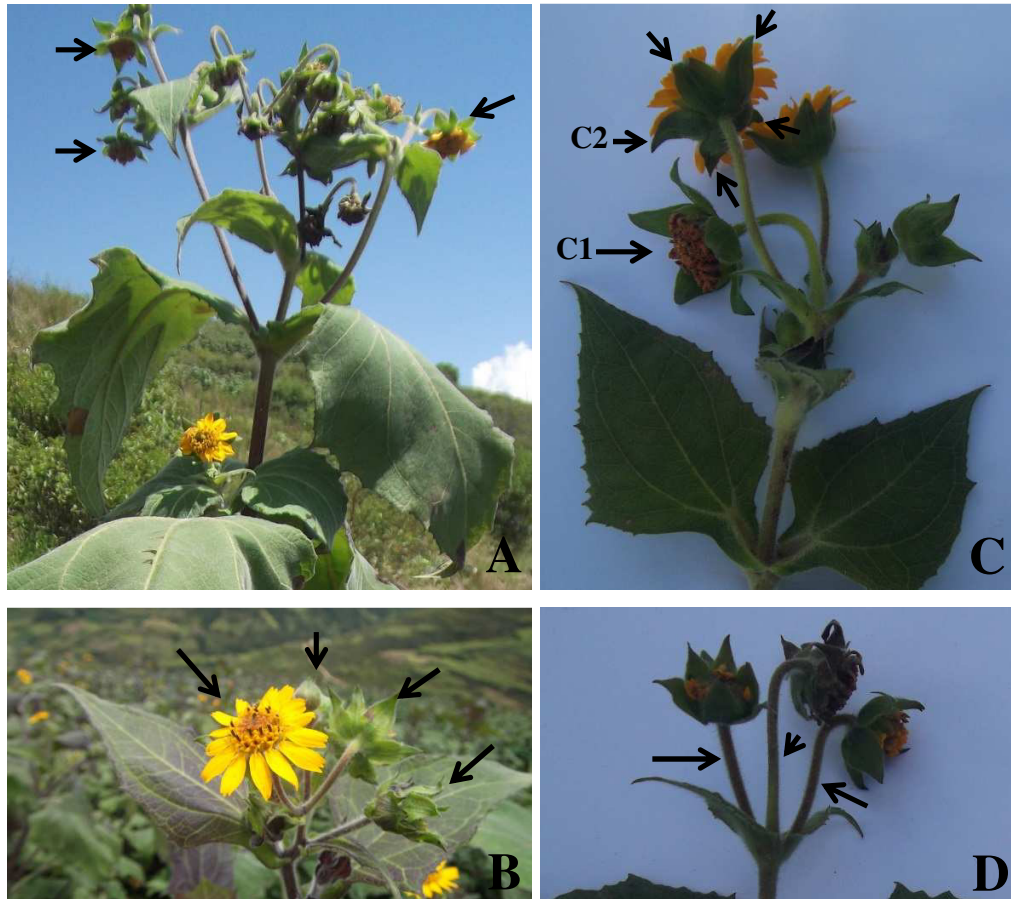


Fig. 9 Características de la inflorescencia: Rama floral terminal dicásica, compuesta por inflorescencias o también denominadas capítulos o cabezuelas (algunos son señalados con flechas) (A). Parte apical de la rama que presenta 4 capítulos señalados por flechas, donde uno de estos se encuentra abierto (B). Capítulo acampanado y hemisférico (C1), con bractáceas involucrales señaladas por flechas, que varían entre 5 (C2) a 6. Pedúnculos que sostienen a cada uno de los capítulos (señalados por flechas), cuyo tamaño varía entre 35 a 37 mm (D).

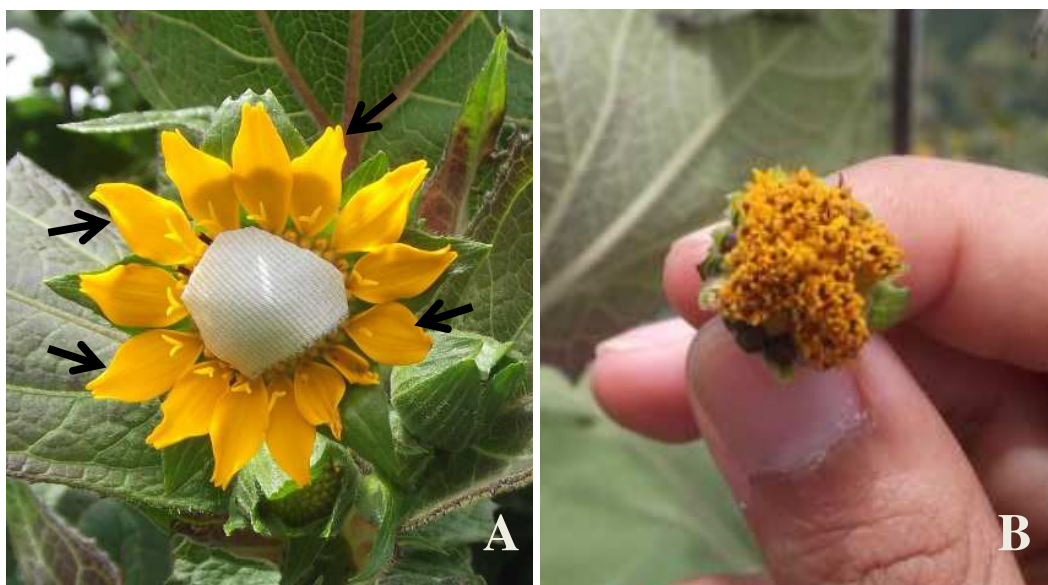


Fig. 10 *Capítulo en el que se muestran solo las flores femeninas distribuidas en verticilo externo, siendo la parte más vistosa y colorida de la planta por el llamativo amarillo de cada una de las lígulas (algunas señaladas por flechas) (A). Capítulo de yacón, con la exposición solo de las flores masculinas, donde la parte amarilla es el estilo de cada flor; además, entre estos se encuentran las anteras, que se observan a forma de puntos negros (B).*

Cada una de las lígulas de color amarillo que conforman la flor femenina, optan entre las formas oblonga, ovado-elíptica y elíptica; y además, tienden a ser bidentadas o tridentadas en su parte apical (Fig. 11), dependiendo de la variedad del yacón; siendo estas otras características útiles por medio de las cuales, también se puede distinguir entre individuos de diferentes variedades de yacón.

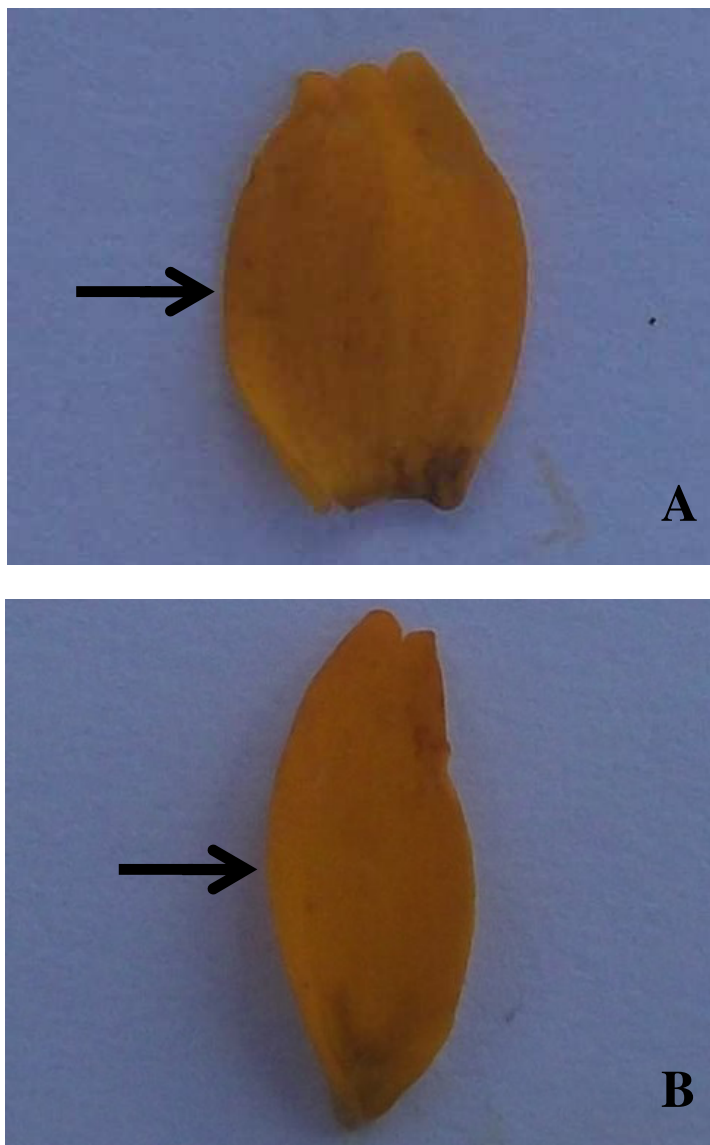


Fig. 11 Características de la lígula: Tridentada (A) y bidentada (B). Además, en ambos casos se puede observar si ensanchamiento en la parte media (señalado por flechas) (A y B).

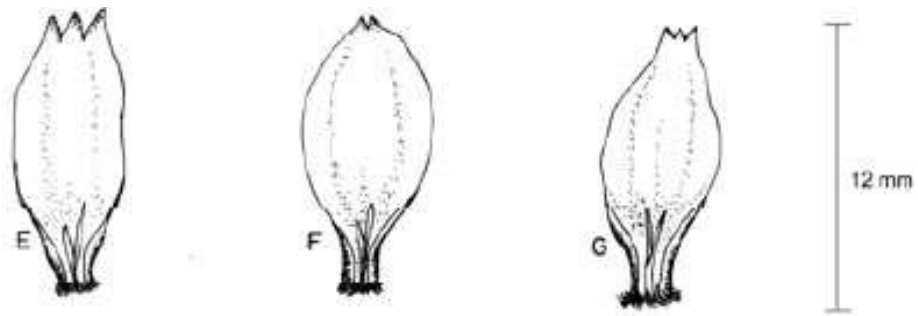


Fig. 12 Formas de la lígula: Oblonga (A), ovado-elíptica (B) y elíptica (C); característica de cada variedad de yacón. Puede llegar a medir entre 11 a 14 mm.

2.5.4.2 Flor masculina

Estas flores tienden a abrirse desde la periferia hacia el centro. Posee gineceo no funcional; además la corola se encuentra formada por cinco pétalos soldados formando un tubo pentadentado (5-lobular), con una densa pilosidad en la cara externa. La flor presenta cinco estambres de filamentos libres y anteras connadas a la parte apical del estilo (estigma). En la antesis, las anteras se rompen dejando visible el estilo, que es de color amarillo y sobresale de la corona tubular. Las anteras presentan color negro, con finas líneas amarillentas en la connación (Fig. 10B). El grano de polen es esférico y aculeado (espinoso) y a veces, tripulado, con color amarillo brillante, presenta una consistencia pegajosa, posee un diámetro de aproximadamente 27μ (un rango de 20 a 30μ) (Seminario et al., 2003).

El polen tiene la consistencia de una miel viscosa y pegajosa, siendo este uno de los principales problemas durante la polinización del yacón.

2.5.5 Raíz reservante

26

Estas tienen una forma muy similar al camote (Fig. 13); no obstante, existen factores como la variedad del yacón, el tipo de suelo, la localidad de la siembra, etc. que hacen variar su forma y tamaño. El peso de la raíz varía entre 500 a 1000 gramos, pero generalmente las comerciales fluctúan entre los 300 y 600 gramos. Bajo un sistema de producción poco tecnificado, una planta produce entre 2 y 4 kg de raíces reservantes; sin embargo, con abono y un adecuado manejo agronómico puede llegar a producir hasta 6 kg (Amaya, 2002 citado por Seminario et al., 2003). Sus raíces pueden ser fibrosas, las cuales son muy delgadas y cuya función es fijar la planta al suelo y absorber agua y nutrientes; o pueden ser reservantes, las cuales son engrosadas, fusiformes u ovaladas que varían entre un color blanco, crema o púrpura (Seminario et al., 2003).

El color de la superficie de la raíz y el de su pulpa, son característicos de cada una de las variedades de yacón; a partir de las cuales se pueden concluir ciertas características; por ejemplo, aquellas que presentan color púrpura en la superficie o en la pulpa (a modo de jaspes o moteaduras), se puede decir que serán variedades que tienen un contenido de antocianinas; mientras que aquellas que son de pulpa naranja, serán variedades con un dulzor característico; propio del azúcar del yacón; finalmente, aquellas con pulpa blanca serán de alto rendimiento, y que comúnmente son las empleadas como comerciales (Seminario et al., 2003). Además, cabe recalcar que dentro de la industria, las variedades lisas son las más utilizadas por su fácil procesamiento durante el pelado, dejando a veces de lado el contenido de la raíz (antocianinas y dulzor, por ejemplo), por enfocarse en la factibilidad de la

producción. Por tanto, las características de la morfología de la raíz reservante, resultan ser importantes cuando se desea discriminar en ciertos atributos propios de las variedades de esta planta.

27

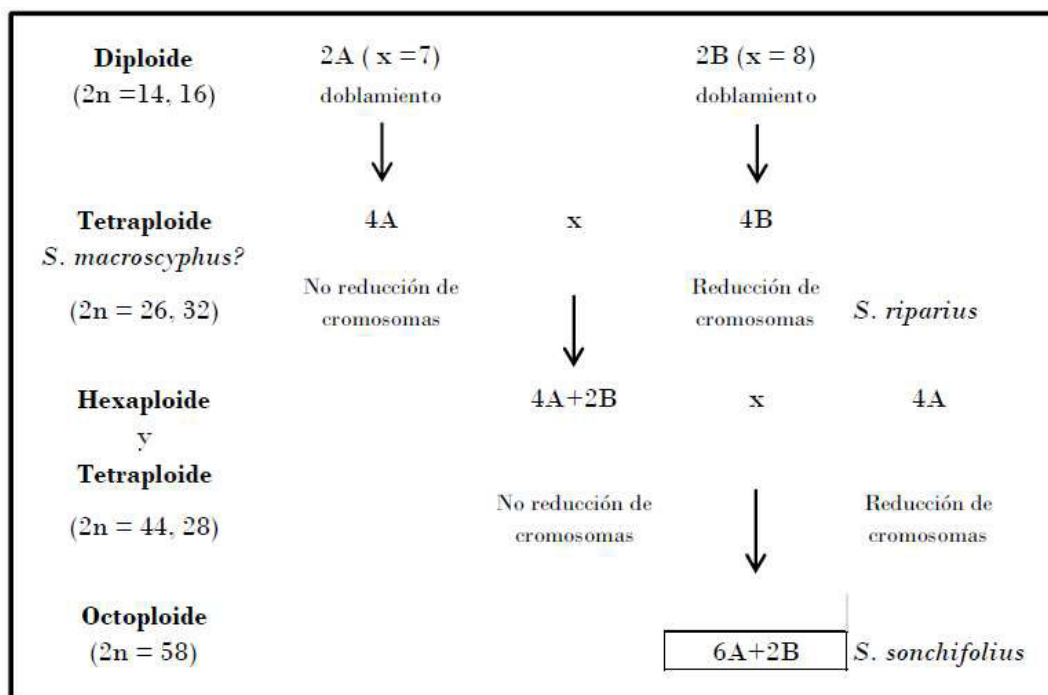


Fig. 13 Raíz reservante de yacón entera, donde observa su morfología similar a la del camote. Corte longitudinal y corte transversal de la raíz, donde se evidencia el color blanco propio de la pulpa de una de las variedades de yacón.

2.6 Número cromosómico

Según Talledo y Escobar (1996) el yacón es un tetraploide, y según Grau y Slains (1996) es posiblemente un alotetraploide hibridado con *S. macroscyphus* o *S. riparius* como uno de los padres putativos, ambas fuentes citadas por Soto (2012). Los estudios de Ishiki et al. en 1997 son consistentes con la teoría de la aloploidia del yacón, sugiriendo que el cariotipo del yacón está compuesto de dos genomas (Fig. 14); además proponen un octoploide 6A+2B como estructura dominante en la mayoría de clones de yacón $2n=58$, mientras que para explicar los clones $2n=87$ se propone un dodecaploide

9A+3B. Los estudios de Salgado (1996) y de Ishiki et al. (1997) son los más detallados y comprensibles hasta la fecha, aunque es necesario validar los diferentes conteos cromosómicos. El yacón como cultivo clonal puede exhibir una considerable diversidad en el número cromosómico. Además otro aspecto a ser considerado es la presencia de cromosomas B, reportado en otras taxas de *Smallanthus*, lo cual podría ser un factor muy importante que afecte los resultados (Ishiki et al., 1997 citado por Soto, 2012).



Fuente: Ishiki et al. 1997, modificado por A. Grau, citado por Hernann, M y Heller, J.1997

Fig. 14 Teoría de la aloploidia del yacón según Ishiki et al. (1997), donde se manifiesta que esta planta está compuesta por 2 genomas: A y B. Además, se presentan a los dos padres putativos del yacón: *S. macroscyphus* o *S. riparius*, donde este último sufre una reducción de cromosomas que dan como resultado un hexaploide, que al cruzarse con un tetraploide, este último reduce su número cromosómico, dando lugar a un octoploide 6A+2B, que es finalmente la estructura dominante en la mayoría de clones de *Smallanthus sonchifolius*.

2.7 Biología floral y sistema reproductivo

29

Grau & Rea (1997) citado por Seminario et al, 2003 indican que el yacón es una planta de polinización cruzada al igual que el girasol (*Helianthus annuus*) y el topinambur (*Helianthus tuberosus*). Por otra parte, se sabe que el yacón posee la característica de protoginia, que significa que la apertura y receptividad de las flores femeninas se da antes que las flores masculinas liberen el polen, siendo esto un indicador más de que la planta es de polinización cruzada y que necesita de agentes polinizadores. Sin embargo, el argumento más contundente para sostener que el yacón es de polinización cruzada es la presencia de acúleos o espinas en la superficie, la viscosidad del grano de polen, la viscosidad de las flores femeninas y la secreción de sustancias azucaradas, especialmente en las flores tubulares, que hacen que los capítulos sean visitados por varias especies de insectos (Seminario et al., 2003). Además, el prolongado inicio de la floración y la asincrónica formación de los capítulos en la planta es otro argumento de polinización cruzada (Mansilla et al., 2010).

Según Grau & Rea (1997) citado por Mansilla et al. (2010), la escasa reproducción sexual es un rasgo característico de esta especie, cuyo origen no está claro y se le atribuye a factores como: problemas en la meiosis (debido a su posible origen híbrido) y la inviabilidad de las semillas. Además, estos autores mencionan que se observó alta esterilidad de los granos de polen en diferentes trabajos de investigación realizados tanto en Argentina como en clones ecuatorianos mediante técnicas de coloración diferencial, lo que explicaría la escasa reproducción sexual. Contrariamente, Seminario et al. (2003) citado por Mansilla et al. (2010) sugieren que la reducida reproducción sexual no es debido a la esterilidad de los granos de polen, ya que Soto (1997),

mediante tinción con aceto carmín encontró una alta viabilidad del polen (Soto, 2012).

Así mismo, según Chicata (1998) y Soto (1998) citados por Seminario et al, 2003; el yacón produce poca semilla sexual y del total de semillas de este tipo que se forman, solo el 15 al 32% llega a germinar; tal es así que en una cosecha de yacón se obtienen predominantemente muchas semillas vanas y muy pocas semillas llenas. Además, según el trabajo realizado por Mansilla et al, 2010 se indica que la elevada receptividad de los estigmas durante todo el desarrollo del capítulo sólo el 11.71 % de los aquenios de las accesiones evaluadas presentarían semillas y con casi nula viabilidad, así mismo, el porcentaje de germinación in vitro de los granos de polen es menor a 0.16 %. Ante este escenario confuso, se plantea que el origen de la escasa reproducción sexual puede encontrarse en otro factor de la biología reproductiva como la androesterilidad citoplasmática (Soto, 2012).

En cuanto a la propagación del yacón, esta es comúnmente vegetativa a través de los rizomas. Además, esta forma de propagación permite mantener la estabilidad genética de la planta, debido al alto nivel de ploidia que tiene el yacón, al ser octoploide y dodecaploide, lo cual resulta un factor limitante para los cruzamientos en el campo (Svobodová et al., 2013).

Debido a los altos niveles de propagación vegetativa y la selección a largo plazo para obtener las características deseadas, la divergencia genética entre las variedades de yacón es muy baja . Además, la baja germinación del polen, los pocos aquenios con semillas y la baja viabilidad de estas ocasiona que la reproducción sexual del yacón sea muy rara. La baja capacidad de reproducción sexual es también una limitación importante para el mejoramiento genético de este cultivo. Técnicas biotecnológicas,

como inducción y selección de variación somaclonal, el doblaje de cromosomas *in vitro* y la transformación genética ofrecen alternativas para ampliar la variabilidad genética del cultivo. Numerosos estudios han sido reportados sobre la propagación *in vitro* de *S. sonchifolius* a través de puntas apicales, yemas axilares o embriones somáticos. Sin embargo, en estos estudios, la fidelidad genética de plantas regeneradas no ha sido evaluada, aunque especialmente la presencia de una fase de crecimiento desorganizada en cultivo de tejidos es considerada como el factor que podría causar la variación somaclonal. Aunque la ocurrencia de variación descontrolada durante el cultivo es mayormente un fenómeno inesperado e indeseado, esta puede ser también una herramienta importante para el fitomejoramiento a través de la generación de nuevas variedades con características agronómicas útiles (Viehmanna et al., 2013).

2.8 Composición química de la planta del yacón

El yacón es una de las raíces de reserva comestible con mayor contenido de agua. Según diversos autores entre el 83 y 90% del peso fresco de las raíces es agua. Mientras que en términos generales los carbohidratos representan alrededor del 90% del peso seco de las raíces recién cosechadas, de los cuales entre 50 y 70% son fructooligosacáridos (FOS). El resto de carbohidratos lo conforman la sacarosa, fructosa y glucosa. Sin embargo, la composición relativa de los diferentes azúcares varía significativamente debido a diferentes factores como el cultivo, la época de siembra y cosecha, tiempo y temperatura en poscosecha, entre otros (Coronado, 2013). En diferentes variedades locales, parece haber una variación significativa en rasgos

morfológicos, así como actividad antioxidante y contenido de fructooligosacáridos (Viehmanna et al., 2013).

Los fructooligosacáridos (FOS), también conocidos como oligofructanos u oligofructosa, pertenecen a una clase particular de azúcares conocidos con el nombre de fructanos. Existen diversos tipos de fructanos en la naturaleza, pero desde un punto de vista nutricional y de uso en la industria alimentaria se reconocen a los FOS y a la inulina como los más importantes (Seminario et al., 2003).

Según Niness (1999) citado por Seminario et al. (2003), la inulina y los FOS no tienen una composición química definida ya que ambos son, en realidad, una mezcla de fructanos de diferente tamaño. La diferencia entre estos radica en el número de moléculas de fructosa que tienen estas cadenas, la inulina tiene entre 2 y 60, mientras que los FOS, que tiene cadenas más pequeñas, el número varía entre 2 y 10. Esto según Goto et al. (1995) citado por Seminario et al. (2003), significa que a los FOS se les puede considerar como un subgrupo de la inulina. Por este motivo algunos autores prefieren emplear el término fructooligosacáridos del tipo inulina para referirse con mayor precisión a la naturaleza de los azúcares presentes en el yacón.

Las raíces reservantes de yacón son una fuente abundante de fructooligosacáridos (FOS), consistente de una serie de inulinas tipo β fructanos (2 \rightarrow 1), los cuales tienen efecto positivo en la salud humana (Viehmanna et al., 2013). Los FOS son considerados como prebióticos y los efectos prebióticos de los FOS del yacón han sido demostrados *in vitro* mostrando que fueron selectivamente fermentados por bifidobacteria y lactobacilo. Además, las raíces de yacón son ricas en componentes fenólicos, principalmente ácido clorogénico (cafeoilquínico) y otros derivados del ácido

cafeico (Campos et al., 2012). También acumulan cantidades importantes de potasio, así como, triptófano y varias fitoalexinas con actividad fungicida; sin embargo, el contenido de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales es bastante bajo (Coronado, 2013).

Según Chacón A. (2006) citado por Coronado A. (2013), la estructura química de los FOS es tal que los hace solubles en agua, lo cual tiene importantes implicaciones biológicas a nivel de la dinámica celular de las plantas, siendo estos almacenados preferiblemente en vacuolas donde es posible que posea otras funciones para la planta como la tolerancia al frío y a las sequías.

Según Crittenden y Playne (1996) y Rodríguez et al (2009) citados por Coronado A. (2013), los FOS al ser consumidos no son hidrolizados en el tracto digestivo dada la ausencia tanto de exoinulasas como exolevanasas acumulándose por ello para su fermentación en el colon. Dada su composición química (enlaces β (2 \rightarrow 1)) no son degradados a nivel del estómago ni del intestino delgado considerándose entonces resistentes a la acción de las enzimas del intestino delgado y de las pancreáticas. Entonces, las bacterias Gram negativas del colon logran sintetizar toda una serie de enzimas sacarolíticas que si pueden metabolizar a los oligofructosacáridos en condiciones anaeróbicas en especial a los de grado de subdivisión bajo (Coronado, 2011).

La composición química de las hojas es poco conocida; sin embargo, se sabe que contienen sesquiterpenos, lactonas, flavonoides y un grupo de sustancias aún no indentificadas (Seminario et al., 2003), y también se ha encontrado fuerte actividad antimicrobiana y antioxidante (Viehmanna et al., 2013).

2.9 Importancia del cultivo del Yacón

34

La raíz de yacón tiene una larga historia de uso en Sur América y otros lugares con potenciales propiedades que promueven la salud, incluyendo efectos prebióticos, antidiabéticos, antioxidantes y antimicrobianos. Los cultivos de yacón han sido expandidos a varios países como Nueva Zelanda, Japón y Brasil en las últimas décadas, y la producción en la región andina y otros países se ha incrementado debido a las presuntas propiedades médicas tanto de raíces y hojas (Campos et al., 2012).

Los fructooligosacáridos (FOS), principal componente de las raíces del yacón, se emplean en la elaboración de alimentos nutraceuticos o funcionales, es decir aquellos alimentos que independientemente de su valor nutritivo ejercen un efecto favorable sobre la salud del consumidor (Coronado, 2013). Los alimentos funcionales están asociados al mantenimiento de la salud y la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles, y por lo tanto los investigadores tienen el desafío de develar las características de los nuevos alimentos y las sustancias beneficiosas para la salud (Pereira et al., 2012). El mercado para este tipo de producto está en expansión y el yacón podría tener posibilidades para posicionarse dentro de esta línea de productos. Pero ésta no es la única forma en la que se le puede encontrar un mercado importante. También se puede obtener una gama de productos procesados que permitirían generar un valor agregado, tanto es así que al yacón fácilmente se pueden llegar a desarrollar y tener aceptación en el mercado (Coronado, 2013).

Según Seminario et al. (2003), los FOS al no poder ser metabolizados por el tracto digestivo debido a que carece de las enzimas encargadas de degradar los enlaces $\beta(1\rightarrow2)$ glucosídicos, se transportan sin ser modificados a través de este hasta llegar a la última

porción del intestino grueso (colon), en donde se lleva a cabo su fermentación. Los FOS son fermentados por la flora microbacteriana natural que habita el colon denominados probióticos, donde destacan principalmente *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*; sin embargo, allí también habitan bacterias putrefactivas de alimentos como los bacteroides, fusobacterias, clostridios, etc, los cuales al multiplicarse generan hongos, levaduras y bacterias patógenas (como *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Campylobacter jejuni*, etc), que están relacionados con cuadros de diarrea y otros desórdenes gastrointestinales. Tanto los probióticos como las bacterias putrefactivas comparten el mismo hábitat y por tanto están en permanente competencia; no obstante, los probióticos son las únicas capaces de romper los enlaces de los FOS y por lo tanto fermentarlos, al hacer esto dichas bacterias utilizan esta energía para multiplicarse y proliferar. La fermentación de los FOS, entonces promueve la producción del ácido láctico y ácidos grasos de cadena corta que disminuyen el pH del colon, con lo cual se impide la proliferación de las bacterias putrefactivas y nocivas del colon. Es por esta razón que los FOS son considerados reconstituyentes de la microflora intestinal, siendo capaces también de influir en la respuesta inmunológica y corregir desórdenes gastrointestinales bastante comunes como la acidez estomacal, diarreas repentinas, trastornos gástricos, indigestiones, entre otros.

En el estudio realizado por Campos et al. (2012), demostraron *in vivo* en cobayas machos (*Cavia porcellus*), que una dieta basada en harina de yacón mejora la densidad celular y las criptas del ciego, debido a que la ingesta de FOS promueve altos niveles de ácidos grasos de cadena corta, los cuales son fuente de energía para las colonias de la

mucosa gastrointestinal y esto aumenta el crecimiento de bifidobacteria y lactobacilus, lo cual es un buen indicador de beneficios para la salud del colon. Además, se conoce que el consumo diario de jarabe de yacón reduce el peso corporal, circunferencia abdominal e índice de masa corporal sugiriendo un rol en el manejo de la obesidad. De igual forma, los efectos antidiabéticos del extracto hidroalcohólico de raíz de yacón en ratas diabéticas inducidas por estreptozotocina ha sido atribuido a su actividad antioxidante y al contenido de componentes fenólicos, principalmente al ácido clorogénico (Campos et al., 2012).

Estas son algunas de las propiedades atribuidas a esta raíz, por lo cual es de vital importancia en el campo de salud, sobretodo actualmente con la tendencia de llevar una vida sana a través del consumo de los denominados alimentos funcionales.

2.10 Técnicas de mejoramiento genético

De acuerdo a Allard (1967), dentro de un programa de mejoramiento genético se busca mantener la heterosis de la especie o bien restablecerla al final. Los métodos más importantes que se aplican en especies de fecundación cruzada, como el caso del yacón, son la selección masal, retrocruzamiento, hibridación de líneas puras o de otra clase de material apto para formar variedades híbridas, selección recurrente y la formación de variedades sintéticas a partir de genotipos seleccionados.

2.10.1 Selección masal

Dentro de la historia de la mejora genética, este método ha sido el más importante por el que se han formado variedades de plantas de fecundación cruzada. En la

selección masal, se escoge un gran número de plantas que se multiplican en la generación siguiente; las bases para la selección serán escoger un buen vigor combinado con ciertas características específicas que dependen del seleccionador. Las semillas de las plantas seleccionadas se multiplican en conjunto y así se produce la siguiente generación. Por este procedimiento solo se puede efectuar la selección por las características maternas, cuando se desconoce el origen del polen.

2.10.2 Retrocruzamiento

Se puede usar con especies de fecundación cruzada lo mismo que con especies autóгамas. La principal diferencia es que requieren suficientes plantas del genitor recurrente heterocigótico para poder recuperar en el producto final de los retrocruzamientos sus frecuencias genéticas características.

2.10.3 Hibridación

La superioridad de las variedades híbridas depende de la heterosis que caracteriza a los híbridos F_1 entre ciertos genotipos. Los genotipos cruzados para producir variedades híbridas pueden ser líneas puras, clones, razas o en realidad cualquier conjunto de plantas que al cruzarlas produzcan una F_1 de suficiente superioridad. Es importante el conservar los genotipos parentales sin ningún cambio, para que el híbrido sea el mismo genéticamente de un año al otro. Es obvio que las líneas puras o clones son los que mejor cumplen este requisito. Otro factor importante es que se pueda fabricar semilla híbrida en grandes cantidades para la producción comercial.

Dentro de la hibridación, es importante el control de la polinización, ya que resulta un problema fundamental colocar el polen funcional del macho sobre los estigmas

receptivos en el momento oportuno. Generalmente hay que protegerse contra una posible autofecundación y también contra cruzamientos con otra clase de polen. Lo primero se puede llevar a cabo eliminando las anteras de las plantas utilizadas como hembras antes de que maduren y lo segundo utilizando bolsas u otros medios para aislarlas del polen extraño. Por lo general, no se necesita un equipo demasiado complicado. Se requiere algunas veces de un par de pinzas, tijeras y un pequeño pincel de pelo de camello.

2.10.4 Selección recurrente

En la selección recurrente se seleccionan los genotipos superiores y estos genotipos o sus descendencias procedentes de autofecundación se entrecruzan de todas las formas posibles para producir nuevas poblaciones y volver a seleccionar. Este proceso ayuda al mantenimiento de la frecuencia génica del material seleccionado. La selección recurrente difiere por lo tanto de la selección masal en que se controla la frecuencia génica tanto en las líneas masculinas como femeninas. Se pueden efectuar más ciclos de selección recurrente mientras continúe la mejora de la población. Los genotipos que se utilizarán como padres para la generación siguiente en la selección recurrente se escogen mediante la comparación de descendencias, cuando los caracteres que se seleccionan (rendimiento, por ejemplo) son de difícil evaluación en una apreciación fenotípica de las plantas. Las comparaciones de descendencias no son necesarias cuando se efectúa la selección por caracteres de fácil identificación mediante la observación visual o con pruebas individuales sencillas de plantas.

Las poblaciones que se obtienen por los procedimientos de selección recurrente se pueden utilizar de varias maneras. El uso más general es como fuente de obtención de líneas puras que se utilizaran en la producción de variedades híbridas, o como punto de partida para la obtención de genotipos que se utilizaran para formar variedades sintéticas. Una variedad sintética es aquella que se produce a partir de todos los entrecruzamientos posibles con un cierto número de genotipos seleccionados: de aquí se obtiene una población que se multiplica posteriormente a partir de la semilla procedente de la fecundación libre. La diferencia esencial entre una variedad obtenida por selección masal y una variedad sintética radica en la forma de selección de los genotipos que compondrán la nueva variedad. En la selección masal, la generación siguiente se propaga a partir de un conjunto de semillas de plantas fenotípicamente superiores seleccionadas de la población original. En una variedad sintética, los genotipos que la componen han sido previamente probados por su habilidad para producir descendencias superiores cuando se cruzan según todas las combinaciones posibles. Por otra parte, en la selección masal los gametos masculinos representan una muestra más o menos al azar de toda la generación anterior. En una variedad sintética la polinización es controlada, de tal forma que la frecuencia génica del material seleccionado se mantiene en la línea masculina tanto como en la femenina.

2.11 Importancia de la caracterización morfológica dentro de un programa de mejoramiento genético

40

Según González y Pita (2001) y Jaramillo y Baena (2000), los recursos fitogenéticos se conservan para utilizarlos, y ello sólo es posible si se conocen sus características y posibles usos. La información que nos permite conocer el germoplasma y determinar su utilidad proviene de tomar y analizar un conjunto de datos sobre el germoplasma, en diversas etapas de la conservación pero principalmente durante la caracterización y evaluación. La caracterización y la evaluación son actividades complementarias que consisten en describir los atributos cualitativos y cuantitativos de las accesiones de una misma especie para diferenciarlas, determinar su utilidad, estructura, variabilidad genética y relaciones entre ellas, y localizar genes que estimulen su uso en la producción o el mejoramiento de cultivos. Las dos actividades requieren exactitud, cuidado y constancia e incluyen un componente importante de registro de datos. Existen diferentes enfoques de la caracterización en función del tipo de caracteres utilizados. A grandes rasgos los principales grupos de caracteres utilizables en caracterización vegetal, permiten dividir la caracterización en las siguientes clases: morfológica, fisiológica, citológica, bioquímica y molecular (Palacios, 2007).

De acuerdo a Enríquez (1966); diferentes niveles de variabilidad pueden ser estimados usando caracteres morfológicos. Su respuesta a la selección y sus antecedentes genéticos pueden ser determinados; estos tipos de caracteres son usualmente dominantes y recesivos. Es así que la mayoría de las plantas cultivadas con importancia económica tiene sus patrones de identificación, caracterización y evaluación. Para llegar a estos protocolos se han realizado estudios básicos de las características en el sentido

de conocer la variabilidad de los caracteres dentro y entre plantas; luego se han seleccionado aquellas características cualitativas y cuantitativas que han resultado ser más útiles para la descripción (Gonzales, 2003).

En la mayoría de las plantas cultivadas, los órganos más importantes para la descripción morfológica son aquellos que están menos influenciados por el ambiente; entre éstos órganos quizás los más importantes son la flor y el fruto; le siguen en importancia otros como las hojas, troncos, ramas, raíces y los tejidos celulares que muchas veces son muy difíciles de caracterizar (Enríquez, 1991 citado por Gonzales, 2003).

Para la caracterización morfológica se utilizan descriptores que deben reunir las siguientes características: ser fácilmente observables, tener alta acción discriminante y baja influencia ambiental, lo que permite registrar la información en los sitios de colecta; la uniformización de los descriptores utilizados es un requisito para que la caracterización tenga un valor universal, para ello se hace uso de las listas de descriptores bien definidos y rigurosamente probados que simplifican considerablemente todas las operaciones de registro de datos, actualización, modificación, recuperación de información, intercambio, análisis y transformación de datos. Además de proporcionar un mejor conocimiento del germoplasma disponible, la caracterización bien realizada presenta algunas ventajas adicionales: permite identificar duplicados, simplificando los trabajos siguientes, racionalizando los trabajos relativos a las colecciones activas y de base, evitando duplicación de actividades y haciendo un uso más eficiente de los recursos humanos y financieros. También permiten el establecimiento de colecciones núcleos que, por definición comprenden, un mínimo de

redundancia de la diversidad genética reunida en una especie cultivada y en las especies silvestres relacionadas (Valls, 1989).

Para el caso de yacón la lista de descriptores fue realizada por Arbizu et. al., en el que se determinaron los 17 descriptores morfológicos; y que en la actualidad este trabajo es referencia para los estudios de caracterización morfológica del yacón.

La caracterización morfológica tiene importancia en la evaluación de híbridos, por ejemplo Romero et. al. (2010) desarrollaron híbridos interespecíficos entre *Coffea arabica* y las especies diploides *C. liberica* y *C. eugenioides*, a las cuales se les evaluaron una serie de caracteres morfológicos descriptivos, que se compararon con las accesiones parentales utilizadas para los cruzamientos de café. Las diferencias morfológicas entre los individuos híbridos y sus parentales se cuantificaron usando diferentes variables relacionadas con las ramas, las hojas, los frutos y las flores, en diez plantas por genotipo. Aunque las tres especies analizadas en este trabajo poseían una base genética común a todas las especies de café conocidas, existían diferencias genéticas, fenológicas y adaptativas que las hacían muy contrastantes. Tales diferencias resultan interesantes dentro de una estrategia de mejoramiento genético por hibridación, dado que son ellas la fuente principal de la variabilidad genotípica, que el mejorador de café utiliza para seleccionar los individuos de mayor interés. Debido a la caracterización morfológica de los parentales y los híbridos, se logró discriminar entre aquellos individuos que eran morfológicamente intermediarios a sus progenitores y los que no, considerándoseles híbridos a los primeros.

Según Smith y Smith (1989); la descripción morfológica de líneas, híbridos y variedades cultivadas benefician tanto al mejorador de plantas y productor de semillas como al agricultor y al comerciante del producto final. Una descripción precisa permite que el agricultor y el comerciante adquieran una variedad específica o que el productor de semilla genere un producto que reúna un estándar aceptable de calidad y pureza. Por otro lado, la descripción de líneas y variedades es requerida para el registro de la propiedad intelectual (Silva et. al., 2009).

CAPÍTULO 3:

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- El estudio de la diversidad de variedades de yacón en el Perú, permitirá identificar y seleccionar las mejores variedades nativas.
- La técnica de mejoramiento genético por hibridación permitirá obtener variedades promisorias de yacón (completamente nuevas).

3.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

45

OBJETIVO GENERAL: Desarrollar nuevas variedades de yacón que tengan mayor rendimiento y otros atributos de calidad (precocidad, forma lisa de raíces, resistencia al pardeamiento, y antocianinas) para uso comercial.

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar variedades promisorias de yacón mediante caracteres morfológicos y otros atributos de calidad previamente identificados (alto rendimiento, alto contenido de FOS y materia seca), dentro de la diversidad del germoplasma nativo conservado en el INIA para condiciones de producción en Ambo.
- Desarrollar variedades promisorias de yacón con nuevos atributos de calidad (precocidad, forma lisa de raíces, resistencia al pardeamiento, y antocianinas) a través del uso de la hibridación.
- Seleccionar las variedades promisorias de yacón mediante el uso de caracteres morfológicos.

CAPÍTULO 4:

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIAL VEGETAL

Seis accesiones de yacón del banco de germoplasma del INIA fueron seleccionadas por sus atributos agronómicos, nutricionales y nutracéuticos (Tabla 1). La siembra se realizó en Junio del 2011 en la comunidad de Rosapata (10°11'09'' LS, 76°09'13'' LO) ubicada a 2792 msnm (Ambo, Huánuco). Cada una de las 6 accesiones seleccionadas fueron empleada como parentales y se sembraron en 4 parcelas, con 60 plantas cada una. La colección de trabajo de germoplasma establecida se conserva para futuros ensayos y evaluaciones de la especie en Ambo, Huánuco.

Tabla 1. Datos passaporte del material genético seleccionado de *Smallanthus sonchifolius* para la instalación de los ensayos experimentales

Código	Código colector	Altitud (msnm)	Localidad	Característica
Testigo	Testigo	-	Bagua	Yacón blanco-Variedad control
V4	UNALM 2	-	Huánuco	Alta productividad de raíces, alto Brix, materia seca y FOS.
V11	ZSY044	1200	San Gaban, Carabaya, Puno	Tiene antocianinas y alta actividad antioxidante. Yacón amarillo
V18	PER007663	1820	Sivia, Huanta, Ayacucho	Resistente al pardeamiento.
V24	AMM5163	3400	Shilla, Carhuaz, Ancash	Alto contenido de Brix, materia seca, FOS y compuestos fenólicos.
V28	UNALM4	-	Huánuco	Alta productividad de raíces y alto FOS.

4.2. MEJORAMIENTO DEL GERMOPLASMA DE YACÓN POR HIBRIDACIÓN

Se realizaron los cruzamientos de los parentales de forma manual a campo abierto en tres oportunidades: la última semana de febrero, la tercera semana de marzo y la última semana de abril del 2012, siguiendo el Plan de Cruzamiento descrito en la Tabla 2. Se seleccionaron los capítulos con la mayor cantidad de flores masculinas y las de mejor calidad, es decir aquellas que presentaban estas flores más abiertas para así tener mayor facilidad para obtener el polen; y estos capítulos fueron cortados. También se seleccionaron los capítulos con la mayor cantidad de flores femeninas receptivas para la polinización, es decir aquellas que se encuentren más abiertas.

Para la polinización manual por ejemplo, se tomaron los capítulos cortados con las mejores flores masculinas para la variedad V4, a la cual se les retiró las flores femeninas como se observa en la Fig. 12, luego a las flores femeninas de un capítulo de la variedad V11 se les puso en contacto con las flores masculinas de la V4 realizando movimientos giratorios a fin de que el polen pueda ingresar. Luego para evitar el contacto con otros polinizadores se les colocó a cada capítulo polinizado una malla, con su respectiva etiqueta como se observa en la Fig. 15A.

Los capítulos polinizados fueron cosechados cuando las inflorescencias estuvieron completamente secas, aproximadamente un mes después de finalizadas las últimas polinizaciones; y trasladados a Lima para realizar la selección de las semillas viables (Fig. 15B).

Tabla 2. Plan de cruzamientos en yacón para Ambo, Huánuco

		MASCULINO					
FEMENINO		Testigo	V4	V11	V18	V24	V28
	Testigo	N	Y	Y	Y	Y	Y
	V4	Y	N	Y	Y	Y	Y
	V11	Y	Y	N	Y	Y	Y
	V18	Y	Y	Y	N	Y	Y
	V24	Y	Y	Y	Y	N	Y
	V28	Y	Y	Y	Y	Y	N

Y = Yes (si se realizará el cruzamiento) N = Not (no se realizará el cruzamiento)



Fig. 15 *Capítulo de yacón polinizado, correctamente etiquetado y cubierto con una malla para evitar la presencia de polinizadores (A). Capítulo seco de yacón listo para coleccionar y ser trasladado a Lima (B).*

4.3. SELECCIÓN MASAL DEL MATERIAL HÍBRIDO

De las 162 plantas obtenidas por Manrique et al., 2014, logradas a partir de la regeneración de las semillas, previamente escarificadas con un abrasivo leve (papel lejía) que permite lograr un pequeño orificio en su pericarpio, y sembradas en bandejas germinadoras conteniendo sustrato orgánico (turba y musgo); se seleccionaron 68 plantas, para realizar la caracterización morfológica y determinar si realmente son el resultado de un proceso de hibridación. Estas 68 plantas fueron propagadas en campo a partir de su semilla vegetativa o “mocra”, siendo las bases para su selección su buen vigor y características específicas, como son los atributos

de calidad (Tabla 1), que buscaban ser evaluadas en el presente trabajo; del cortado de las mocras y con repeticiones para la propagación finalmente se obtuvieron un total 834 individuos (Tabla 5).

4.4. CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA

La caracterización morfoagronómica consistió en evaluar cualitativamente las plantas empleando los 17 descriptores de Arbizu et al. (2001) y registrar su rendimiento en campo (Kg/planta).

4.4.1. Definición de los descriptores morfológicos

Se empleó la lista de 17 descriptores morfológicos para yacón de Arbizu et al. (2001). Para los descriptores de color se usó una cartilla de colores (RHS, 2007).

4.4.2. Fichas de caracterización

Con el objeto de facilitar y sistematizar, la toma y posterior cuantificación de datos se elaboraron dos fichas de caracterización:

- a) Ficha de caracterización morfológica:** Para realizar la descripción del material vegetal en campo antes de la colecta; comprende los descriptores morfológicos de Arbizu et al. (2001).
- b) Ficha de descripción en cosecha:** Empleada solo durante la cosecha, con el objetivo fundamental de registrar el peso de las raíces comerciales para determinar el rendimiento en campo de los individuos evaluados.

4.4.3. Evaluación morfológica de los parentales

51

La caracterización de los parentales se realizó en Abril del 2013. Se evaluaron 10 plantas de cada parental y se emplearon los 17 descriptores de Arbizu et al. (2001).

4.4.4. Evaluación morfológica de los individuos obtenidos del plan de cruzamiento

La caracterización de los individuos obtenidos del plan de cruzamiento se realizó en Marzo del 2015. Se evaluaron 5 plantas por cada uno. Para la determinación de la condición híbrida de las plantas solo se evaluaron tres descriptores morfológicos: color de la superficie de la raíz (D14), color de la pulpa de la raíz (D15) y tendencia a formar hendiduras en la raíz (D16); debido a que durante la cosecha las otras partes de la planta se encontraron en un estado no apto para realizar la caracterización.

Después de concluida la caracterización morfológica, los estados de los 3 descriptores evaluados para cada híbrido fueron comparados con los estados de cada uno de sus parentales. Se determinaron 4 categorías para clasificar a los 68 individuos: 1) si el híbrido expresó caracteres de ambos progenitores, es considerado un “híbrido positivo”; 2) si es híbrido pero solo expresó caracteres del progenitor femenino o no existió hibridación, entonces es considerado un “no determinado”; 3) si ambos progenitores presentan caracteres compartidos y debido a esto no se puede determinar si heredó características de ambos o solo del progenitor femenino o no existió hibridación, entonces es considerado un “no específico”; 4) si el individuo presenta características diferentes a ambos progenitores, entonces es considerado un “alterado”.

Además, se realizó un examen visual del grado de pardeamiento de las raíces al momento de la cosecha mediante cortes transversales y longitudinales de estas, y controlando el tiempo para evidenciar cuál de las raíces se oxidaba primero. También se evaluó el grado de floración de las plantas obtenidas a partir de los cruzamientos durante todo el periodo de cultivo.

4.4.5. Evaluación agronómica de parentales e individuos obtenidos del plan de cruzamiento

Se registró el peso de las raíces comerciales de las plantas obtenidas a partir de los cruzamientos así como de sus respectivos parentales, registrando el rendimiento como Kg/planta, empleando una balanza electrónica.

4.5. CATÁLOGO FOTOGRÁFICO

En anexos se presenta el catalogo fotográfico de los parentales (Anexo 2) y de las accesiones obtenidas del plan de cruzamiento (Anexo 3), en él se exhiben gráficamente los descriptores cualitativos más importantes definidos por Arbizu et al. (2001).

4.6. ANÁLISIS MORFOLÓGICO

Se realizó el Análisis de Conglomerados, empleando el índice de Jaccard empleado el software estadístico InfoStat, para determinar el estado de hibridación, de acuerdo a los valores de las variantes de cada descriptor (Anexo 4).

CAPÍTULO 5:

RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS VARIEDADES DE YACÓN EMPLEADAS COMO PARENTALES EN LAS CRUZAS DE HIBRIDACIÓN

Las variedades de yacón: Testigo, V4, V11, V18, V24 y V28, empleadas como parentales para desarrollar las cruzas de hibridación fueron caracterizadas morfológicamente teniendo como base los Descriptores para yacón de Arbizu et al, 2001 (Anexo 1; Tabla 3).

Solo los descriptores D3, D6, D8 y D13 se manifiestan en todas las variedades evaluadas.

Además, se observó precocidad en el parental V24, el inicio y la finalización de la floración ocurrió mucho antes en comparación los otros parentales.

Tabla 3. Caracterización morfológica de las 6 accesiones parentales de yacón

D	TESTIGO (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	V4 (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	V11 (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)
D1	Tallo verde amarillento	Tallo púrpura grisáceo oscuro	Tallo verde amarillento
D2	Nudos y entrenudos púrpuras	Sin color en nudos o entrenudos	Nudos y entrenudos púrpuras
D3	Ramificación a través de todo el tallo	Ramificación a través de todo el tallo	Ramificación a través de todo el tallo
D4	Follaje verde amarillento	Follaje verde	Follaje verde amarillento
D5	Sin pigmentación en la nervadura de la hoja	Sin pigmentación en la nervadura de la hoja	Sin pigmentación en la nervadura de la hoja
D6	Sin pigmentación en la hoja apical	Sin pigmentación en la hoja apical	Sin pigmentación en la hoja apical
D7	Hoja de forma Triangular-Hastada	Hoja de forma Triangular-Sub hastada	Hoja de forma Triangular-Hastada
D8	Borde de la hoja: Dentado	Borde de la hoja: Dentado	Borde de la hoja: Dentado
D9	Con floración moderada	Con floración abundante	Con floración abundante
D10	Flor ligulada amarillo naranja	Flor ligulada amarillo naranja	Flor ligulada amarillo naranja
D11	Flor ligulada de forma oblonga	Flor ligulada de forma oblonga	Flor ligulada de forma oblonga
D12	Flor ligulada bidentada	Flor ligulada tridentada	Flor ligulada bidentada
D13	Si produce semilla	Si produce semilla	Si produce semilla
D14	Superficie de la raíz púrpura grisáceo claro	Superficie de la raíz púrpura grisáceo oscuro	Superficie de la raíz amarillo claro
D15	Pulpa de la raíz blanca	Pulpa de la raíz amarillo naranja	Pulpa de la raíz blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo
D16	No presenta hendiduras en la raíz (lisa)	No presenta hendiduras en la raíz (lisa)	Presenta hendiduras en la raíz
D17	Propágulo blanco con rojo purpúreo	Propágulo purpúrea grisáceo oscuro	Propágulo blanco con rojo purpúreo

D	V18 (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	V24 (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	V28 (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)
D1	Tallo púrpura grisáceo oscuro	Tallo púrpura grisáceo oscuro	Tallo verde amarillento
D2	Sin color en nudos o entrenudos	Sin color en nudos o entrenudos	Nudos y entrenudos púrpuras
D3	Ramificación a través de todo el tallo	Ramificación a través de todo el tallo	Ramificación a través de todo el tallo
D4	Follaje verde amarillento	Follaje verde	Follaje verde amarillento
D5	Sin pigmentación en la nervadura de la hoja	Con pigmentación en la nervadura de la hoja	Sin pigmentación en la nervadura de la hoja
D6	Sin pigmentación en la hoja apical	Sin pigmentación en la hoja apical	Sin pigmentación en la hoja apical
D7	Hoja de forma Triangular-Hastada	Hoja de forma Triangular-Hastada	Hoja de forma Triangular-Hastada
D8	Borde de la hoja: Dentado	Borde de la hoja: Dentado	Borde de la hoja: Dentado
D9	Con floración abundante	Con floración escasa	Con floración abundante
D10	Flor ligulada amarillo naranja	Sin flor	Flor ligulada amarillo naranja
D11	Flor ligulada de forma oblonga	Sin flor	Flor ligulada de forma elíptica
D12	Flor ligulada tridentada	Sin flor	Flor ligulada bidentada
D13	Si produce semilla	Si produce semilla	Si produce semilla
D14	Superficie de la raíz púrpura grisáceo claro	Superficie de la raíz púrpura grisáceo oscuro	Superficie de la raíz amarillo claro
D15	Pulpa de la raíz naranja claro	Pulpa de la raíz amarillo naranja	Pulpa de la raíz amarillo naranja
D16	Presenta hendiduras en la raíz	Presenta hendiduras en la raíz	No presenta hendiduras en la raíz (lisa)
D17	Propágulo púrpura grisáceo oscuro	Propágulo rojo purpúreo	Propágulo púrpura grisáceo oscuro

5.2. RESULTADOS DEL PLAN DE CRUZAMIENTO DE YACÓN

56

De acuerdo al Plan de Cruzamiento (Tabla 2) se realizaron 15 Cruces Directos (CD) y 15 Cruces Recíprocos (CR), de los cuales solo sobrevivieron 13 cruces en campo: 7 del primero y 6 del segundo, de los cuales el total de semillas colectadas que germinaron en invernadero y fueron trasplantadas a campo fue de 143; adicionalmente a estas existieron 19 cuyos cruzamientos implicaban parentales que no presentaban las características que son uno de los objetos de estudio de este trabajo (atributos de calidad), así como, individuos cuyos progenitores no podían ser determinados por dificultades técnicas en la visualización de sus etiqueta, por lo que fueron obviados del estudio. En total estas serían las 162 plantas obtenidas por Manrique et al., 2014, de las cuales por “selección masal” se escogieron 68, por su supervivencia en campo a las condiciones de Ambo y por los posibles atributos de calidad heredados a partir de sus parentales durante los cruzamientos (Tabla 4).

Los 68 individuos determinados por selección masal fueron propagados en campo vegetativamente (por varios cortes de la mocra de cada individuo) obteniéndose un total de 834 plantas (Tabla 5).

Tabla 4. Cruzamientos realizados, tipos de cruza, número de semillas trasplantadas a campo y número de individuos determinados por selección masal y evaluados por cada cruzamiento.

57

Cruzamiento	Tipo de cruza	Total de semillas que germinaron en invernadero y se trasplantaron a campo en Ambo, Huánuco	Total de individuos determinados por Selección masal y evaluados por cada cruzamiento
V4 x V11	CD	5	2
V4 x V28	CD	3	3
V11 x V4	CR	27	4
V11 x V18	CD	8	3
V11 x V24	CD	17	16
V11 x V28	CD	15	2
V11 x Testigo	CR	4	4
V24 x V4	CR	5	4
V24 x V11	CR	21	9
V24 x V18	CR	20	7
V24 x V28	CD	7	4
V24 x Testigo	CR	7	6
Testigo x V11	CD	4	4
TOTAL		143	68

Tabla 5. Número de plantas obtenidas por propagación en campo, a partir de las 68 plantas determinadas por Selección masal.

Cruzamiento	Código	Nº de plantas propagadas por individuo (repeticiones)
V4 x V11	1.1	3
	1.2	2
V4 x V28	2.1	13
	2.2	21
	2.3	2
V11 x V4	3.1	17
	3.2	7

	3.3	11
	3.4	11
V11 x V18	4.1	13
	4.2	3
	4.3	9
V11 x V24	5.1	4
	5.2	4
	5.3	2
	5.4	4
	5.5	6
	5.6	14
	5.7	13
	5.8	22
	5.9	18
	5.10	8
	5.11	24
	5.12	25
	5.13	12
	5.14	11
	5.15	23
	5.16	4
V11 x V28	6.1	2
	6.2	8
V11 x Testigo	7.1	27
	7.2	3
	7.3	2
	7.4	15
V24 x V4	8.1	35
	8.2	25
	8.3	25
	8.4	10
V24 x V11	9.1	7
	9.2	7
	9.3	5
	9.4	23
	9.5	13
	9.6	15
	9.7	18

	9.8	19
	9.9	11
V24 x V18	10.1	8
	10.2	15
	10.3	20
	10.4	8
	10.5	18
	10.6	8
	10.7	34
V24 x V28	11.1	27
	11.2	8
	11.3	5
	11.4	19
V24 x Testigo	12.1	6
	12.2	13
	12.3	11
	12.4	4
	12.5	15
	12.6	12
Testigo x V11	13.1	6
	13.2	5
	13.3	8
	13.4	8
		834

5.3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS INDIVIDUOS DE YACÓN OBTENIDOS DEL PLAN DE CRUZAMIENTO

Los resultados de la caracterización morfológica de los 68 individuos para los 3 descriptores de Arbizú et al. (2001) son mostrados en la Tabla 6 y Anexo 3.

De los 68 individuos obtenidos a partir de las cruas, de acuerdo a la caracterización morfológica y al análisis de conglomerados empleando el coeficiente de Jaccard, se obtuvieron 44 “híbridos positivos”; 8 “no determinados”, ya que solo heredaron los

caracteres del progenitor femenino, no logrando identificarse si existió hibridación o no; 9 “no específicos”, ya que al presentar los progenitores caracteres compartidos, pudo existir hibridación heredando las características de ambos o solo del progenitor femenino o no existir; 7 “alterados”, ya que el progenitor masculino no es el correspondiente a la cruce; 2 replicaciones de 3 “híbridos positivos” y 1 replicación de 1 de los 9 “no específicos” también presentaron un progenitor masculino diferente al de su cruce considerándoseles “alterados” (Tabla 6, Anexo 3 y 4).

Además, se observó la pérdida de moteaduras irregulares de color púrpura rojizo (indicador de antocianinas) en las 44 plantas con parentales que presentaban este carácter. Por otra parte, todos los individuos excepto 3.3, 5.7, 5.13 y 9.6; presentaron raíces lisas, es decir, ausencia de hendiduras en las raíces. En los híbridos 4.1, 4.2 y 4.3 se observó la resistencia al pardeamiento durante el muestreo de la cosecha y durante su caracterización morfológica, evidenciándose que las raíces no se oscurecían tan rápido. De los 13 cruzamientos realizados, se observó que las plantas obtenidas en 10 de estos: V4 x V11, V4 x V28, V11 x V4, V11 x V18, V11 x V28, V11 x Testigo, V24 x V4, V24 x V18, V24 x Testigo y Testigo x V11, presentaron floración escasa, incluso aquellas que provenían de los progenitores V4, V11, V18 y V28, que tiene la característica de floración abundante.

Tabla 6. Caracterización morfológica de las 68 accesiones obtenidas a partir de los cruzamientos de acuerdo a los descriptores morfológicos de Arbizu et al, 2001 y el status de hibridación.

Progenitor Femenino	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Progenitor Masculino	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
V4	PGO	AN	A	V11	AC	BA-MPR	P	1.1	PGO	NC	A	No determinado
								1.2	PGO	NC	A	No determinado
V4	PGO	AN	A	V28	AC	AN	A	2.1	PGO	NC	A	No específico
								2.2	PGO	BA	A	Alterada
								2.3	PGO	AN/NC	A	No específico
V11	AC	BA-MPR	P	V4	PGO	AN	A	3.1	PGO	AC	A	Positivo
								3.2	AC	BA	A	Positivo
								3.3	PGO	AC	P	Positivo
								3.4	AC	BA	A	Positivo
V11	AC	BA-MPR	P	V18	PGC	NC	P	4.1	PGO	NC	A	Positivo
								4.2	AC/PGC	BA/AC	A	Positivo
								4.3	AC/PGC/PGO	BA/NC	A	Positivo
V11	AC	BA-MPR	P	V24	PGO	AN	P	5.1	PGC/PGO	B/NC	A	Positivo
								5.2	PGC/PGO/AV	BA/AN/NC	A	Positivo
								5.3	PGC	BA	A	Positivo
								5.4	AC	B	A	No determinado
								5.5	PGO	NC	A	Positivo
								5.6	PGO	AN	A	Positivo
								5.7	PGO	AN	P	Positivo

								5.8	PGC	AN/NC	A	Positivo
								5.9	PGO	NC	A	Positivo
								5.10	PGO	AN	A	Positivo
								5.11	PGC/PGO	AN/NC	A	Positivo
								5.12	PGO	AN/NC	A	Positivo
								5.13	PGO	AC	P	Positivo
								5.14	PGO	AN/NC	A	Positivo
								5.15	PGO	B/AN/NC	A	Positivo
								5.16	PGC	NC	A	Positivo
V11	AC	BA-MPR	P	V28	AC	AN	A	6.1	AC	AC	A	Positivo
								6.2	AC	BA	A	Positivo
V11	AC	BA-MPR	P	Testigo	PGC	B	A	7.1	PGC	BA/NC	A	Positivo/Alterada
								7.2	PGC	NC	A	Alterada
								7.3	PGC	NC	A	Alterada
								7.4	PGO	NC	A	Alterada
V24	PGO	AN	P	V4	PGO	AN	A	8.1	PGO	AN	A	Positivo
								8.2	PGO	BA	A	Alterada
								8.3	PGO	BA	A	Alterada
								8.4	PGO	NC	A	Positivo
V24	PGO	AN	P	V11	AC	BA-MPR	P	9.1	PGC	NC	A	No determinado
								9.2	PGC	NC	A	No determinado
								9.3	PGO	BA/AN	A	Positivo
								9.4	PGO	AN	A	No determinado
								9.5	PGO	BA/AN	A	Positivo
								9.6	AC	AN	P	Positivo

								9.7	PGO	BA/AN	A	Positivo
								9.8	PGO	NC	A	No determinado
								9.9	PGO	AN/NC	A	No determinado
V24	PGO	AN	P	V18	PGC	NC	P	10.1	AC/PGO	AN/NC	A	Alterado/No específico
								10.2	PGO	NC	A	No específico
								10.3	PGO	AN	A	No específico
								10.4	PGO	AC	A	No específico
								10.5	PGO	NC	A	No específico
								10.6	PGO	AN/NC	A	No específico
								10.7	PGO	NC	A	No específico
V24	PGO	AN	P	V28	AC	AN	A	11.1	AC/PGO	BA/AN	A	Alterada/Positivo
								11.2	PGO	AN	A	Positivo
								11.3	PGC	NC	A	Positivo
								11.4	PGO	AN/NC	A	Positivo
V24	PGO	AN	P	Testigo	PGC	B	A	12.1	PGO	AN	A	Positivo
								12.2	PGO	AN/NC	A	Positivo
								12.3	PGC	BA	A	Positivo
								12.4	PGO	NC	A	Positivo
								12.5	PGO	NC	A	Positivo
								12.6	PGO	NC	A	Positivo
Testigo	PGC	B	A	V11	AC	BA-MPR	P	13.1	PGC	AC	A	Positivo
								13.2	PGC	BA	A	Positivo
								13.3	AC/PGO	AC/AN	A	Positivo/Alterada
								13.4	AC	NC	A	Alterada

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.

5.3. COMPARACIÓN AGRONÓMICA ENTRE LOS PARENTALES Y LOS INDIVIDUOS DE YACÓN OBTENIDOS DEL PLAN DE CRUZAMIENTO

64

Se registró el peso de las raíces comerciales tanto de los parentales como de los individuos obtenidos a partir del plan de cruzamiento (Tabla 7), el rendimiento (Kg/planta) de estos últimos osciló entre 0.32 – 11.28 Kg/planta, no llegando en su mayoría a superar el rendimiento de sus respectivos parentales; a excepción del alterado 8.2 con un rendimiento de 11.232 Kg/planta, en el cual el rendimiento de su progenitor femenino V24 (7 Kg/planta) fue incrementado, mas no por influencia del rendimiento de su progenitor masculino V4 (12.5 Kg/planta), debido a su status de hibridación; así mismo del híbrido 9.7 con un rendimiento de 9.216 Kg/planta, en el cual el rendimiento de su progenitor femenino V24 (7 Kg/planta) fue incrementado por influencia del rendimiento de su progenitor masculino V11 (12.2 Kg/planta), durante el proceso de hibridación; además, el individuo no especifico 10.3 con un rendimiento de 11.28 Kg/planta, en el cual el rendimiento de su progenitor femenino V24 (7 Kg/planta) fue incrementado, a pesar que el rendimiento del progenitor masculino V18 (5.8 Kg/planta) era menor; finalmente, el híbrido 12.3 con un rendimiento de 9.6 Kg/planta, en el cual el rendimiento de su progenitor femenino V24 (7 Kg/planta) fue incrementado por influencia del rendimiento de su progenitor masculino Testigo (15.3 Kg/planta), por el proceso de hibridación.

Tabla 7. Rendimiento (Kg/planta) de los parentales y de las 68 accesiones obtenidas a partir de los cruzamientos.

Progenitor Femenino	Rendimiento (Kg/planta)	Progenitor Masculino	Rendimiento (Kg/planta)	Código de híbridos	Rendimiento (Kg/planta)
V4	12.50	V11	12.20	1.1	1.2
				1.2	4.56
V4	12.50	V28	15.60	2.1	1.584
				2.2	3.36
				2.3	1.02
V11	12.20	V4	12.50	3.1	4.176
				3.2	0.84
				3.3	6.816
				3.4	2.208
V11	12.20	V18	5.80	4.1	1.776
				4.2	1.28
				4.3	10.608
V11	12.20	V24	7.00	5.1	6.84
				5.2	3.24
				5.3	0.672
				5.4	3.84
				5.5	1.32
				5.6	5.184
				5.7	5.568
				5.8	5.856
				5.9	3.264
				5.10	2.68
				5.11	3.84
				5.12	5.952
				5.13	9.84
				5.14	1.68
				5.15	2.4
V11	12.20	V28	15.60	6.1	0.9
				6.2	1.056

V11	12.20	Testigo	15.30	7.1	1.056
				7.2	0.72
				7.3	0.32
				7.4	1.008
V24	7.00	V4	12.50	8.1	3.456
				8.2	11.232
				8.3	6.768
				8.4	1.392
V24	7.00	V11	12.20	9.1	1.28
				9.2	2.352
				9.3	2.16
				9.4	0.72
				9.5	4.752
				9.6	6.72
				9.7	9.216
				9.8	6
				9.9	5.04
V24	7.00	V18	5.80	10.1	2.352
				10.2	2.496
				10.3	11.28
				10.4	0.816
				10.5	3.264
				10.6	1.536
				10.7	1.92
V24	7.00	V28	15.60	11.1	3.936
				11.2	1.04
				11.3	1.2
				11.4	6.432
V24	7.00	Testigo	15.30	12.1	3.36
				12.2	3.072
				12.3	9.6
				12.4	1.008
				12.5	1.92
				12.6	3.36
Testigo	15.30	V11	12.20	13.1	2.88
				13.2	2.064
				13.3	3.072
				13.4	4.848

CAPÍTULO 6:

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los 30 cruzamientos desarrollados, sobrevivieron solo 13, de los cuales 10 fueron aquellos que desarrollaron progenie híbrida positiva, que resulta ser un número significativo, ya que según Harrand (2005), dentro de una población híbrida, existe un porcentaje significativo que puede morir en sus primeros estadíos como plantín ante la presencia de incompatibilidad genética. Por eso, debe considerarse la estabilidad genética de la planta, ya que debido al alto nivel de ploidía que tiene el yacón, al ser octoploide y dodecaploide, esto resulta ser un factor limitante para los cruzamientos en este cultivo, resultando más factible la reproducción vegetativa mas no la reproducción sexual, siendo esta última escasa en esta especie (Svobodová et al. 2013). Además, de acuerdo a Grau & Rea (1997), puede deberse a problemas durante la meiosis, por su condición híbrida; así como a la alta esterilidad de los granos de polen, lo cual concluye en una escasa

reproducción sexual de este cultivo (Mansilla et al. 2010). Sin embargo, existe aún una contradicción con Seminario et al. (2003) citado por Mansilla et al. (2010), ya que sugieren que la reducida reproducción sexual no es debido a la esterilidad de los granos de polen, ya que Soto (1997), mediante tinción con aceto carmín encontró una alta viabilidad de este (Soto, 2012). No obstante, dentro de los cruzamientos desarrollados en este trabajo, de aquellos que resultaron híbridos positivos, todas las plantas sobrevivieron en campo, demostrándose así que si es posible el desarrollo de reproducción sexual a través el proceso de hibridación en esta especie, a pesar de su alto nivel de ploidía, lo cual no impidió el desarrollo de las plantas, siendo los 6 parentales empleados, capaces de desarrollar este tipo de reproducción, generando una progenie viable.

La caracterización morfológica de la población obtenida a partir del plan de cruzamiento de yacón y de sus respectivos parentales, permitió diferenciarlos y determinar su naturaleza híbrida, lo cual deberá ser complementado con estudios moleculares y bioquímicos posteriores como se indica en las recomendaciones. En el estudio de Romero et. al. (2010) con híbridos interespecíficos entre *C. arabica* y las especies diploides *C. liberica* y *C. eugenioides*, emplearon la caracterización morfológica para discriminar entre los híbridos exitosos y los fallidos, siendo los primeros aquellos que presentaron características intermedias entre los parentales.

Para la caracterización morfológica de los parentales y los individuos obtenidos de los cruzamientos, se emplearon 10 y 5 individuos de cada uno, respectivamente; en el caso de estos últimos, se empleó este número de muestra por la condición en que se encontraron las raíces al momento de la cosecha; sin embargo, de acuerdo a la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (2002), para medir la variabilidad de una

población, como en nuestro caso, es necesario utilizar descriptores discriminatorios, como los de Arbizu et al. (2001) y establecer el experimento con un mínimo de cinco plantas por accesión en lotes homogéneos en dos replicaciones, de este modo se obtendrá mejor y mayor información (Hernández, 2013).

Por lo general, los híbridos presentan características físicas intermedias, por lo cual se determinó como status de hibridación “positivo” a aquellas plantas que cumplen este patrón (Dorado, 2008). Sin embargo, en algunos casos, se observa la morfología intermedia entre los dos parentales, donde el híbrido se parece a uno de los padres más que el otro o se ve diferente a cualquiera de los padres (Ponton et al. 2004; Ito 2009). La expresión del carácter del parental o caracteres intermedios en los híbridos depende del control genético y la influencia del ambiente (Rieseberg 1995).

Las especies de tubérculos como la papa, presentan barreras internas pre-cigóticas y post-cigóticas, estas pueden ser unilaterales o bilaterales, según ocurran en uno o en ambos sentidos de un mismo cruzamiento; cuando están ausentes o son incompletas, se puede originar progenie híbrida (Camadro, 2011). En los híbridos obtenidos, una o ambas barreras se encontraron inactivas generando un status de hibridación “positivo”; mientras que en los status de “no determinado” y “no específico”, no se podría afirmar de forma concluyente si dichas barreras se manifestaron o no, ya que por ejemplo, en el primer caso, los individuos pueden ser progenie híbrida que solo heredó características de su progenitor femenino o no ser híbridos, siendo en el primer panorama una copia de la variedad que se empleó como progenitor femenino; en el segundo caso, al ser los parentales similares, pueden ser híbridos que heredaron características que el parental masculino compartía con el femenino o ser solo copias de la variedad que se empleó como progenitor femenino. En cambio, en el

status de hibridación “alterada”, se ha generado progenie híbrida pero teniendo como parental masculino una planta diferente a la establecida en el plan de cruzamiento, siendo una o ambas barreras inactivadas antes de la ejecución del plan de cruzamiento. Para determinar, si la progenie en los status de “no determinada” y “no específica” es híbrida, se recomienda en trabajos posteriores realizar una caracterización molecular empleando marcadores AFLPs.

El carácter de moteaduras irregulares púrpura rojizo es recesivo, ya que ninguno de los individuos obtenidos de los cruzamientos expresaron el carácter, a pesar de que uno o ambos de sus parentales los presentaron. Sin embargo, de acuerdo a los resultados del trabajo de Sidorov et al. (1987) en híbridos somáticos de papa, la síntesis de antocianina si se expresa en lo que ellos denominan como los verdaderos híbridos y por lo tanto es un carácter dominante. Además, Mano et al., 2007 reportan en camote, que la expresión de antocianinas en varios tejidos de la planta es de tipo dominante. Observándose que la expresión de este carácter varía de acuerdo a la especie. Además, ambos autores mencionan que las antocianinas también se encuentran en la superficie de las raíces que presenten colores oscuros derivados del púrpura o morado, lo cual en el caso del yacón, su producción se encontraría solo en esta parte de este órgano y al no ser comestible solo podría ser empleado como fuente de extracción de antocianas. Como se muestra en la Tabla 6 el carácter de color de superficie púrpura grisáceo oscuro es dominante, ya que cuando está presente en el progenitor masculino mas no en el femenino, el híbrido expresa este carácter, de igual forma cuando está presente en el progenitor femenino mas no en el masculino.

La forma y el tamaño de la raíz reservante del yacón varía entre esférico a obovado y muy alargados, a menudo con formas contorsionadas que para la industria dificultan mucho el pelado e incrementan el costo del procesamiento. La superficie puede ser lisa, con hendiduras longitudinales y constricciones transversales. Algunos cultivares de yacón tienen tendencia a formar un mayor número de raíces lisas y simétricas que otros (Manrique et al. 2003). En este trabajo se observó que el carácter de presencia de hendiduras en la raíz es recesivo, favoreciendo su procesamiento en la mayoría de las plantas obtenidas, habiéndose desarrollado entonces variedades promisorias con raíces lisas, cuyos parentales o uno de estos presentaron hendiduras; sin embargo, también favorece el sustrato de las plantas, ya que mientras el suelo esté mejor preparado (sin piedras, maleza, etc) las raíces podrán distribuirse de mejor forma a través de este, sin obstáculos que generen malformaciones en estas.

Los híbridos 4.1, 4.2 y 4.3 presentaron resistencia al pardeamiento, característica heredada por parte de su progenitor masculino (V18), lo que confirmaría también su status de híbrido positivo y lo que evidenciaría el desarrollo de variedades promisorias, ya que gracias a esta resistencia, la oxidación de la raíz es más lenta y por lo tanto los FOS no son degradados tan rápidamente en comparación con otras variedades; beneficiando el tiempo de vida de estos en la raíz, desde el campo hasta la mesa del consumidor o su procesamiento en la industria.

Se ha observado que la floración es intensa y precoz en la mayoría de clones sembrados del norte de Bolivia, alrededores de Cuzco, sur y norte del Perú, y Cajamarca; en este trabajo el parental V24 resultó ser precoz y se conoce que es originario de la región de Ancash (Singh, 2012). Este atributo representa una ventaja para V24, ya que, sus descendientes

permitiría erradicar del campo genotipos de floración tardía antes que alcancen la antesis y así evitar sus posibles recombinaciones con las demás variedades (Ortiz et al., 2008).

Además, el ciclo precoz permite que, con fechas de siembra tempranas, transcurran su período crítico (alrededor de floración) durante épocas de menor demanda atmosférica (ambiente menos “deseicante”), que plantas de ciclo más largos. Teniendo menor probabilidad de estar expuestos a déficit hídrico durante el período crítico. Además, las plantas de ciclo corto, requieren de buenos ambientes para expresar todo su potencial; las plantas de V24 tuvieron un óptimo crecimiento en las condiciones de Ambo, Huánuco, siendo este un buen ambiente para su desarrollo.

A pesar de la supervivencia de los híbridos al evaluar su rendimiento en campo, la mayoría de estos no superó el de sus parentales, a excepción de 9.7 y 12.3. Esto puede deberse a que se cree que los híbridos son menos nutritivos, es decir, que exigen más recurso del suelo y que son más vulnerables al clima y a los cambios ambientales (Donelan, 2009); así como, debido a que los híbridos pueden ser débiles, estériles o colapsar en generaciones segregantes (Camadro, 2011). Sin embargo, esto también ocurrió con los alterados, no determinados y no específicos, debido a que en el primer caso a pesar de su status de hibridación es un híbrido, solo que el parental masculino es diferente al establecido por el plan de cruzamiento; en el segundo y tercer caso, una parte de los individuos pueden ser híbridos expresando solo caracteres del progenitor femenino en los no determinados o expresando caracteres compartidos de ambos progenitores o solo del femenino en los no específicos; mientras que los individuos restantes, al no haber pasado por un proceso de hibridación pueden haberse visto afectados durante su desarrollo al no obtener la misma cantidad de nutrientes que los híbridos, al compartir con estos un mismo campo, ya que los

últimos como se mencionó anteriormente exigen más recursos del suelo. Por otra parte, el alterado 8.2 y el no específico 10.3 presentaron un incremento en su rendimiento, siendo accesiones interesantes a evaluar con respecto a su crecimiento y desarrollo en la próxima cosecha de Diciembre, 2015, al igual que los híbridos 9.7 y 12.3, para evaluar si se mantiene, se incrementa o disminuye su rendimiento en una siguiente cosecha. En el caso de los híbridos identificados, se decidió incluir mayores nutrientes al suelo en el campo ya instaurado en Ambo, Huánuco, para poder evaluar su rendimiento y compararlo en la próxima cosecha de Diciembre, 2015. Además, el crecimiento tanto en número como en tamaño de las raíces de yacón, pudo haber estado predispuesto a la supervivencia de las plantas, ya que a pesar del bajo rendimiento de cada una de estas, cada copia de las plantas obtenidas de los cruzamientos pudo sobrevivir en campo. De acuerdo a Rhoades y Cates 1976 y Coley 1988, citados por Valladares (2004), el costo de construcción de los órganos de una planta, dependerá de la contribución relativa de los compuestos más “caros” energéticamente, como los lípidos, lignina, fenoles y proteínas, frente a los más “baratos”, como los carbohidratos, ácidos orgánicos y minerales; el alto costo también puede estar originado por los compuestos químicos de defensa que aumentan la supervivencia a cambio de un menor crecimiento, según la hipótesis del compromiso entre defensa y crecimiento.

La disminución de flores en una planta resulta ser signo de que la planta invierte sus recursos de forma diferente entre los otros órganos con función de captación de luz y asimilación de dióxido de carbono (hojas), de captación de agua y nutrientes minerales (raíces) y de sostén (tallos). Además, las interacciones entre la disponibilidad de recursos (por ejemplo de luz) y el programa genético de cada especie (que determina, en gran medida, el reparto de biomasa en hojas, tallos y raíces), son complejas y por tanto la

relación con el crecimiento no siempre es predecible (Valladares, 2004). Durante la realización de este trabajo se observó que más del 75% de las cruzas presentaron muy pocas flores (10 de los 13 cruzamientos), incluso aquellas que provenían de los progenitores V4, V11, V18 y V28, que tiene la característica de floración abundante; lo cual indicaría que todos los nutrientes de la planta se dirigen hacia el desarrollo de otros órganos como hoja, tallo y raíz; sin embargo, se esperaba que la distribución de nutrientes se dirija hacia las raíces incrementando el rendimiento en campo de estas nuevas variedades; no obstante, esto no se observó, por el contrario el rendimiento en la mayoría de las plantas obtenidas de los cruzamientos fue inferior al de los parentales.

Finalmente, a través del estudio de la diversidad de las variedades de yacón empleadas como parentales y de las cruzas obtenidas a través de la caracterización morfológica, se ha logrado identificar y seleccionar a los mejores parentales, capaces de producir híbridos viables; así como, a híbridos de status “positivo”, sobre todo aquellos individuos que evidenciaron características promisorias como la resistencia de pardeamiento y la formación de raíces lisas; un paso importante a partir de los cuales se podrán desarrollar planes de mejoramiento del cultivo, empleando alguno de estos caracteres dependiendo de la variable que se desee mejorar. Como continuación de esta investigación, se recomienda realizar un screening bioquímico a cada uno de estos, que en la actualidad se encuentran en los campos de Ambo, Huánuco, cuya próxima cosecha se realizará en Diciembre, 2015, y evaluar cuantitativamente las variables de FOS, compuestos fenólicos, antocianinas y actividad antioxidante.

CONCLUSIONES

75

1. Se logró identificar que los 6 parentales empleados para el desarrollo de los cruzamientos generaron progenie híbrida positiva; Testigo, V11 y V24 desarrollaron híbridos empleándoseles como progenitores femeninos y masculinos; sin embargo, en V4 esto solo ocurrió cuando actuó como progenitor masculino, en V18 y V28 no se puede afirmar con certeza lo mismo ya que no se obtuvieron plantas sobrevivientes donde haya sido empleado como progenitor femenino.
2. Se lograron desarrollar 44 variedades híbridas de yacón a través de la técnica de mejoramiento genético; de las cuales los híbridos 4.1, 4.2 y 4.3 son variedades promisorias heredando la característica de resistencia al pardeamiento, siendo una ventaja comercial en comparación con otras variedades por impedir la degradación de los FOS de forma rápida; además, todos los individuos presentaron raíces lisas excepto 3.3, 5.7, 5.13 y 9.6, por lo que puede considerarse que la presencia de hendiduras en la raíz es un carácter recesivo influenciado también por las características del suelo. Así mismo, se identificó que el parental V24 es una variedad precoz, lo cual resulta favorable para su temprana extracción del campo. Por otra parte, el rendimiento en campo no fue óptimo; sin embargo, los que presentaron rendimiento favorable tuvieron como progenitor a V24, por lo que debe ser considerada para estudios en cuanto al incremento del rendimiento. Finalmente, ningún individuo obtenido de las cruzas expuso el carácter de moteaduras irregulares purpura rojizo (indicador de antocianinas), por lo que podría ser considerado un carácter recesivo.

3. Los caracteres morfológicos de Arbizu et. al (2001) permitieron seleccionar las variedades promisorias en la especie de yacón, mediante estos se logró discriminar entre toda la población, a los híbridos positivos que podrían ser usados en la agroindustria gracias a sus características de calidad.

RECOMENDACIONES

77

1. Como siguiente paso para la continuación de esta investigación, se recomienda realizar un screening bioquímico a cada uno de los verdaderos híbridos propagados que se encuentran en los campos de Ambo, Huánuco en la actualidad, durante su próxima cosecha a realizarse en Diciembre, 2015, para evaluar de forma cuantitativa las variables de FOS, compuestos fenólicos, antocianinas y actividad antioxidante.
2. Se recomienda realizar una caracterización molecular a los individuos con status “no determinado”, “no específico” y “alterado” empleando marcadores moleculares AFLPs, para determinar su identidad; así como de los “híbridos positivos” para ampliar la información sobre estos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

78

Allard R. W.. (1967). Principios de la Mejora Genética de las Plantas. Primera Edición. Editorial Omega, S.A. 498 p.

Camadro, E. (2011). Hibridación y flujo génico en especies silvestres de papa de la Argentina. *Journal of Basic & Applied Genetics*. 22(1): 1-5.

Campos, D., Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Aguilar-Galvez, A., Noratto, G. & Pedreschi, R. (2012). Prebiotic effects of yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. *Journal of Food Chemistry*. 135: 1592–1599.

Coronado, A. (2013). Elaboración de la harina de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y su influencia en el crecimiento de dos bacterias probióticas. Tesis para el Título de Químico Farmacéutico. Facultad de Farmacia y Bioquímica Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Donelan, P. (2009). Cultivo de Semillas. USA: Ecology Action.

Dorado, O. (2008). Hibridación: ¿promiscuidad biológica?, en Academia de Ciencia de Morelos, A.C, pp. 22-23.

Flores D. (2010). Uso Histórico: Yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob). Base de Datos Proyecto Perubiodiverso. Información bibliográfica sobre Historia y Usos tradicionales de 3 Plantas seleccionadas: Proyecto Biocomercio.

Gonzales, Y. (2003). Caracterización morfológica y molecular de genotipos de *Dioscorea alata* y *D. trifida* del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, IDIAP y CATIE, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Programa de educación para el desarrollo y la conservación.

Grau, A. & Rea, J. (1997). Yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl) H. Robinson. In: Hermann M. & J. Heller (eds): Andean roots and tuber: Ahipa, arracacha, maca, yacón. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma Italia. Pp. 199-242.

Harrand, L. (2005). La Utilización de Híbridos Interespecíficos como Alternativa Forestal. IDIA XXI, 8, pp.165-168.

Hernandez, A.E. (2013). Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Revista Bio Ciencias. 2(3): 113-118.

Ito, M. (2009). Variation in leaf morphology of *Quercus crispula* and *Quercus dentata* assemblages among contact zones: a method for detection of probable hybridization. Journal of Forest Research. 14:240–244.

Mano, H., Ogasawara, F., Sato, K., Higo, H. & Minobe, Y. (2007). Isolation of a Regulatory Gene of Anthocyanin Biosynthesis in Tuberous Roots of Purple-Fleshed Sweet Potato. *Plant Physiology*. 143:1252–1268.

Manrique, I., Párraga, A. & Hermann, M. (2005). Jarabe de yacón: Principios y Procesamiento. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No. 8A. Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Fundación Erbacher, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima, Perú. 31 p.

Manrique, I., Gonzales, R., Valladolid, A., Blas, R. & Lizárraga, L. (2014). Producción de semillas en yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.)) mediante técnicas de polinización controladas. *Journal of Ecología Aplicada*. 13(2): 135-145.

Mansilla, R., López, C., Flores, M. & Espejo, R.. (2010). Estudio de la Biología Reproductiva en cinco accesiones de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) Robinson. *Journal of Ecología Aplicada*. 9(2): 167-175.

Muñoz, A. M. (2009). Monografía del yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.)). Lima, Perú.: Perúbiodiverso.

Ortiz, A., Miranda, R., Figueroa, R. & Ramis, C. (2008). Caracterización Morfológica de una población F2 obtenida del cruce natural entre un cultivar arroz y un arroz rojo (Parte I). *Agronomía Tropical*. 58(3): 299-307.

Palacios, S. (2007). Caracterización morfológica de accesiones de *Capsicum spp.* Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar el título de Magíster en Ciencias, con énfasis en Recursos Fitogenéticos Neotropicales. Universidad Nacional de Colombia.

Pereira, J., Barcelos, M., Pereira, M., Ferreira, E. (2012). Studies of chemical and enzymatic characteristics of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its flours. *Food Science and Technology*, 33(1): 75-83.

Perúbiodiverso. (2006). Yacón. 2014, de GTZ y PromPerú Sitio web: http://www.pdrs.org.pe/img_upload_pdrs/36c22b17acbae902af95f805cbae1ec5/Diptico_yac_n_1.pdf

Polanco, M.F. (2011). Caracterización Morfológica y Molecular de Materiales de Yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinson colectados en la Eco Región Eje Cafetero de Colombia. Tesis de grado para obtener el título de Magister en Ciencias agrícolas con énfasis en Fitomejoramiento, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia

Ponton, S., Dupouey, J.L. & Dreyer, E. (2004). Leaf morphology as species indicator in seedlings of *Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) Liebl: modulation by irradiance and growth flush. *Annals of Forest Science*. 61: 73–80.

Rieseberg, L.H. (1995). The role of hybridization in evolution: old wine in new skins. *American Journal of Botany*. 82:944–953.

Romero, J. V.; Camayo-Vélez, G. C.; González-Martínez, L. F.; Cortina-Guerrero, H.A.; Herrera-Pinilla, J.C.. (2010). Caracterización citogenética y morfológica de híbridos interespecíficos entre *C. arabica* y las especies diploides *C. liberica* y *C. eugenioides*. *Cenicafé*. 61(3):206-221.

Royal Horticultural Society Colour Chart, 2007

Seminario, J., Valderrama, M., & Manrique, I. (2003). El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

Sidorov, V.A., Zubko, M.K., Kuchko, A.A., Komarnitsky, I.K. & Gleba, Y.Y. (1987). Somatic hybridization in potato: use of γ-irradiated protoplasts of *Solanum pinnatisectum* in genetic reconstruction. *Theoretical and Applied Genetics*. 74:364-368.

Silva, W.R.; Alfaro, Y.J. y Jimenez, R.J.. (2009). Evaluación de las características morfológicas y agronómicas de cinco líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra. Revista UDO Agrícola 9 (4): 743-755.

Singh, R. (2012). Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement series: Medicinal Plants. 6 (20): 642-693.

Soto, J. (2012). Evaluación de la diversidad genética de colecciones de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) “Yacón” del Perú. Tesis, Magister en Mejoramiento Genético de Plantas. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Svobodová, E., Dvoráková, Z., Cepková, P.H., Viehmannová, I., Havlícková, L., Fernández, E., Russo, D. & Meza, G. (2013). Genetic diversity of yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) and its wild relatives as revealed by ISSR Markers. Journal of Biochemical Systematics and Ecology, 50, 383–389

Valladares, F. (2004). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. (pp.191-227). Madrid, España: EGRAF, S. A..

Viehmannova, I., Bortlova, Z., Vitamvas, J., Cepkova, P. H., Eliasova, K., Svobodova E. & Travnickova M. (2013). Assessment of somaclonal variation in somatic embryo-derived plants of yacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. and Endl.) H. Robinson] using inter

simple sequence repeat analysis and flow cytometry. Electronic Journal of Biotechnology.

84

17:102-106. doi:10.1016/j.ejbt.2013.12.011.

ANEXO 1

Descriptores Morfológicos de Yacón

(Smallanthus sonchifolius) de Arbizu et al., 2001

DESCRIPTORES PARA YACON (2001)

86

1. Color predominante de tallos
 - 1 Verde amarillento
 - 2 Púrpura grisáceo claro
 - 3 Púrpura grisáceo oscuro
2. Color secundario de tallos y su distribución
 - 0 Ausente
 - 1 Verde amarillento en nudos
 - 2 Púrpura en nudos y entrenudos
3. Ramificación de tallos
 - 0 Ausente
 - 1 Predominantemente apical
 - 2 Predominantemente basal
 - 3 A través de todo el tallo
4. Color de follaje
 - 1 Verde amarillento
 - 2 Verde
 - 3 Verde con pigmentación púrpura grisáceo o marrón
5. Pigmentación de la nervadura (envez)
 - 0 Ausente
 - 1 Presente
6. Pigmentación de la hoja apical
 - 0 Ausente
 - 1 Presente
7. Forma de la lámina y base
 - 1 Deltoidea - Truncada
 - 2 Cordada - Lobada
 - 3 Triangular - Hastada
 - 4 Triangular - Sub hastada
8. Borde de la lámina
 - 1 Crenado
 - 2 Dentado
 - 3 Doblemente dentado
9. Hábito de floración
 - 0 Ninguna
 - 3 Escasa
 - 5 Moderada
 - 7 Abundante
10. Color de las flores liguladas
 - 1 Amarillo oscuro
 - 2 Amarillo naranja
11. Forma de la flor ligulada
 - 1 Ovada
 - 2 Oblongo

- 3 Elíptico
- 12. Número de dientes de las flores liguladas
 - 0 Ausente
 - 1 Bidentado
 - 2 Tridentado
- 13. Producción de semilla
 - 0 Ausente
 - 1 Presente
- 14. Color de la superficie de la raíz reservante
 - 1 Amarillo claro
 - 2 Púrpura grisáceo claro
 - 3 Púrpura grisáceo oscuro
 - 4 Azul violeta
- 15. Color de la pulpa de la raíz reservante
 - 1 Blanco
 - 2 Blanco amarillento
 - 3 Blanco amarillento con moteaduras irregulares purpura rojizo
 - 4 Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura grisáceo oscuro
 - 5 Amarillo claro
 - 6 Amarillo naranja
 - 7 Naranja claro
- 16. Tendencia a formar hendiduras en las raíces reservantes
 - 0 Ausente
 - 1 Presente
- 17. Color de los propágulos
 - 1 Blanco
 - 2 Blanco con rojo purpúreo
 - 3 Rojo purpúreo con blanco
 - 4 Rojo purpúreo
 - 5 Púrpura grisáceo oscuro
 - 6 Azul violeta

ANEXO 2

Catálogo Fotográfico: Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales: Testigo, V4, V11, V18, V24 y V28

Fig. 16. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el

Descriptor 3: Ramificación de tallos.



Ramificación a través de todo el tallo

Fig. 17. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón

empleadas como parentales para el

Descriptor 4: Color de follaje







		
TESTIGO Verde amarillento	V4 Verde	V11 Verde amarillento
		
V18 Verde amarillento	V24 Verde	V28 Verde amarillento

Fig. 18. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón
empleadas como parentales para el Descriptor 5: Pigmentación de la nervadura (envés)

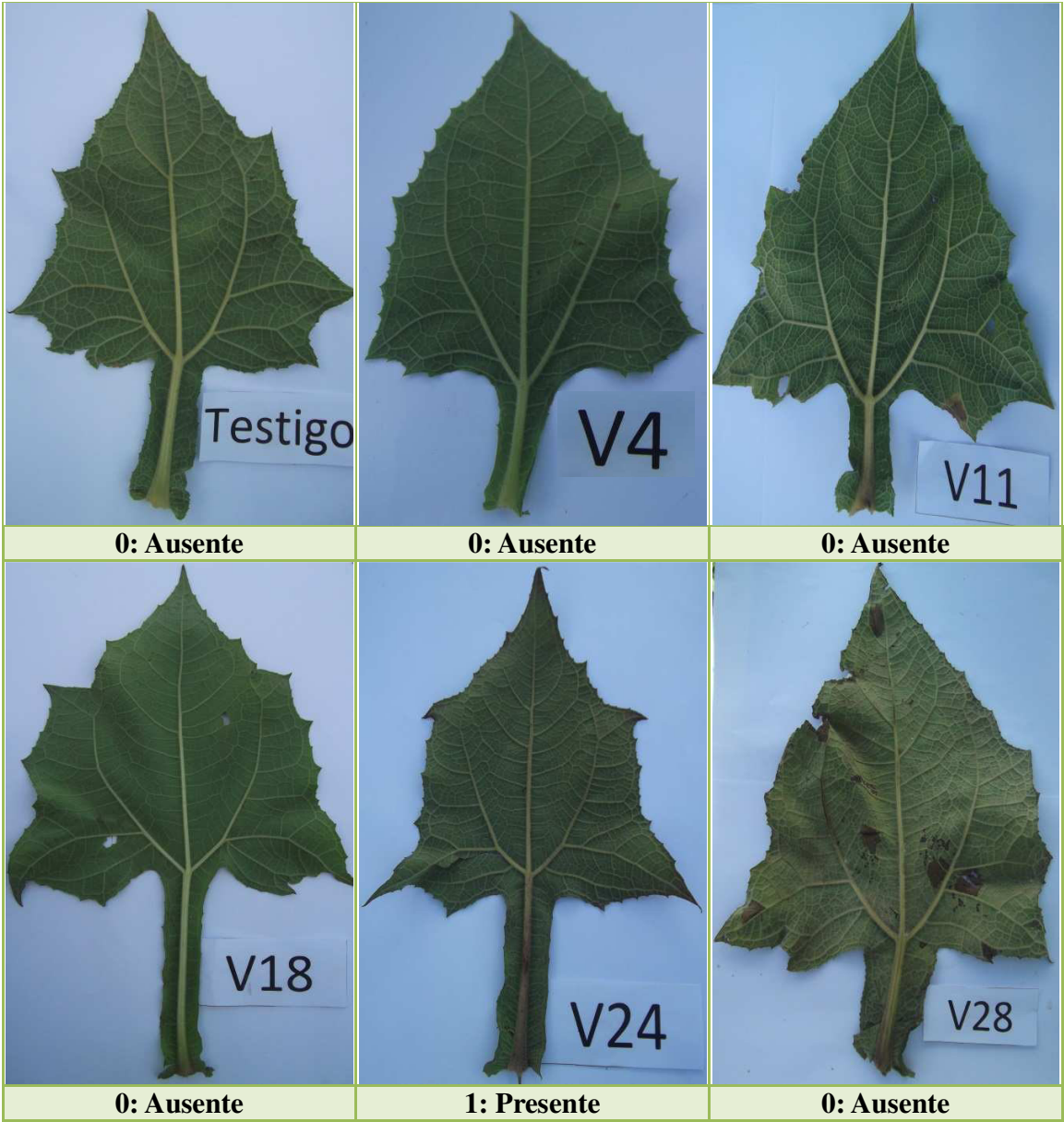


Fig. 19. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el
Descriptor 6: Pigmentación de la hoja apical

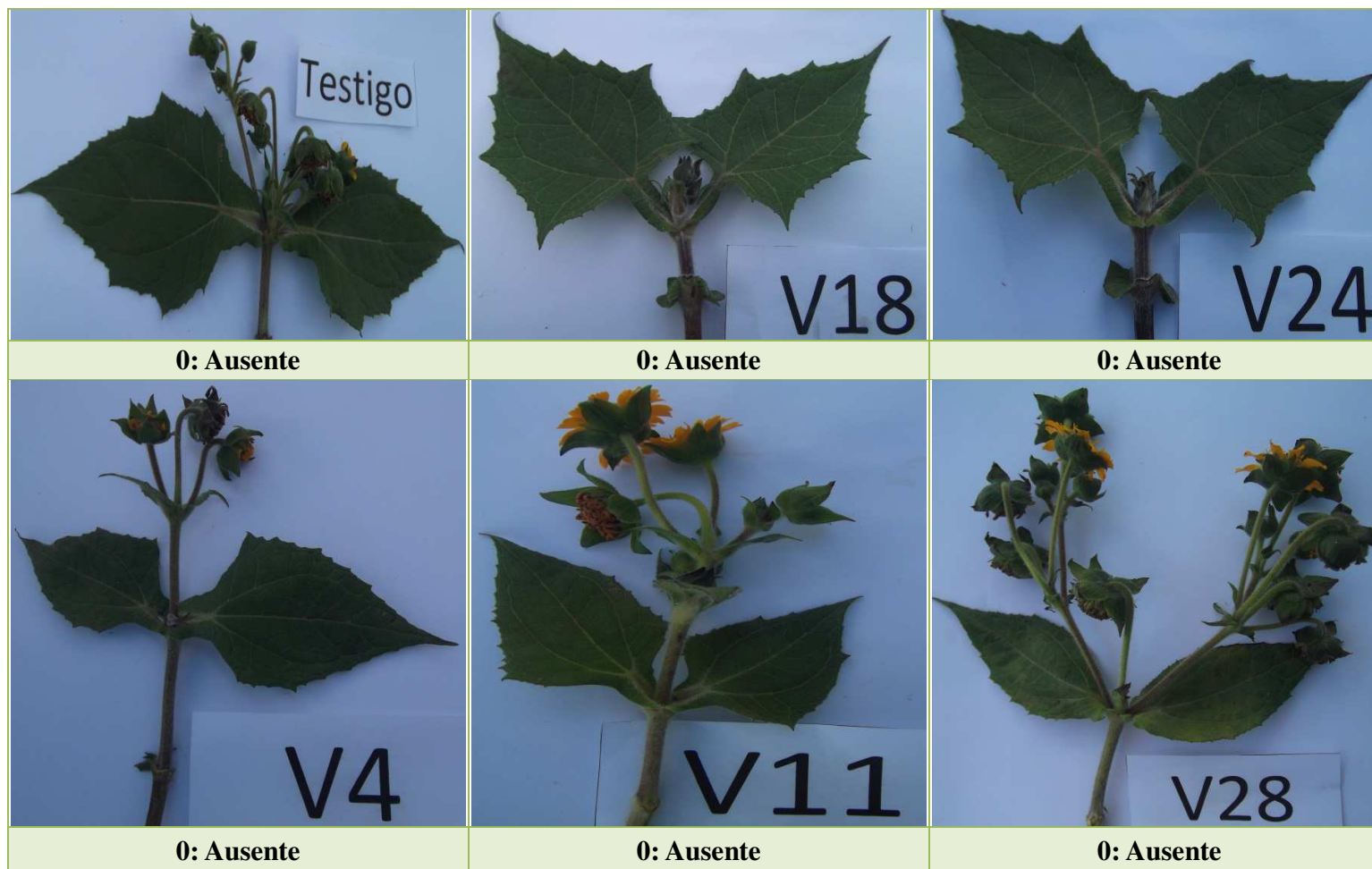
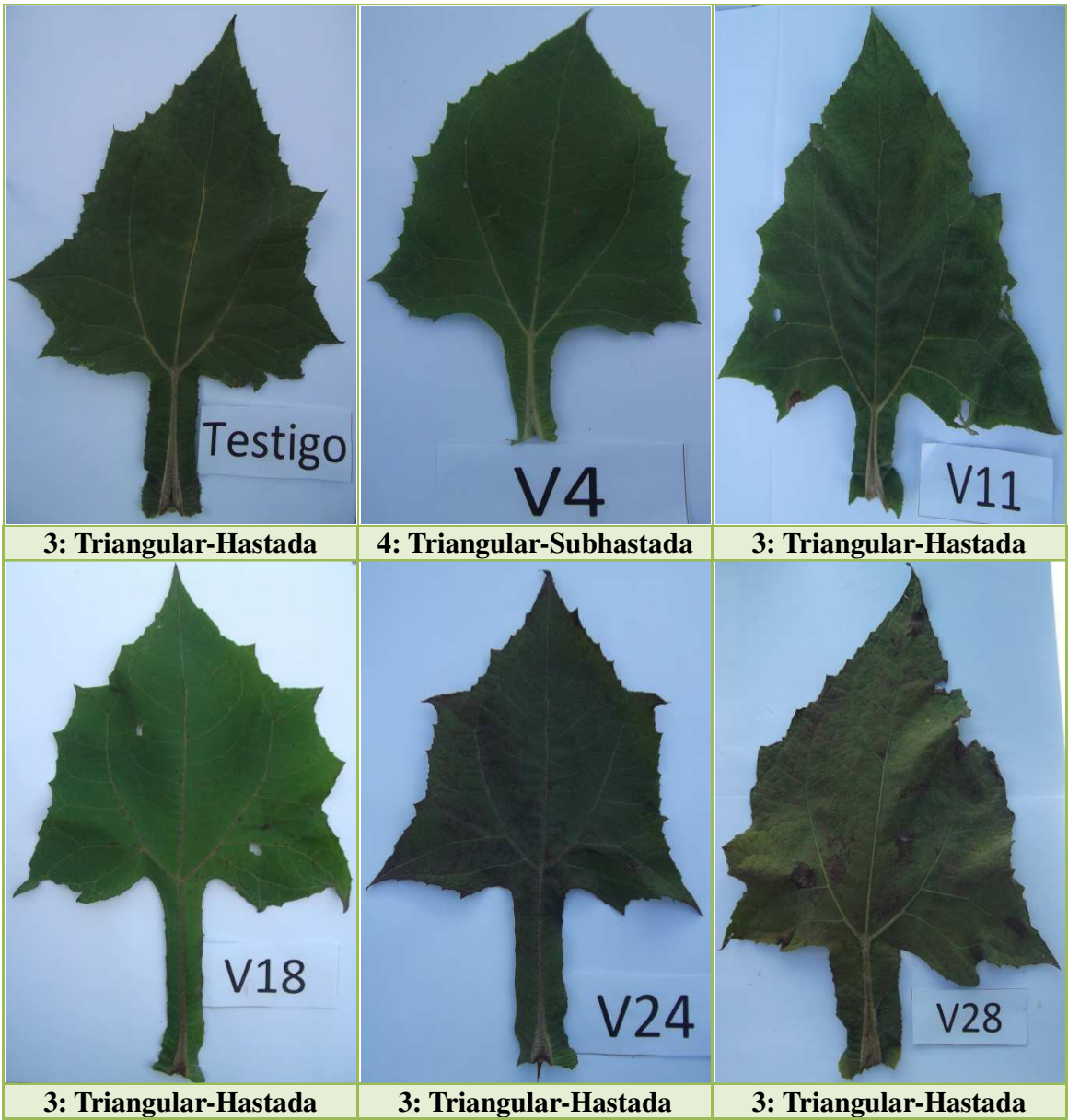


Fig.20. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor 7: Forma de la lámina y base



Para una mejor apreciación de estos resultados consultar la Fig. 6.

Fig. 21. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el

Descriptor 8: Borde de la Lámina

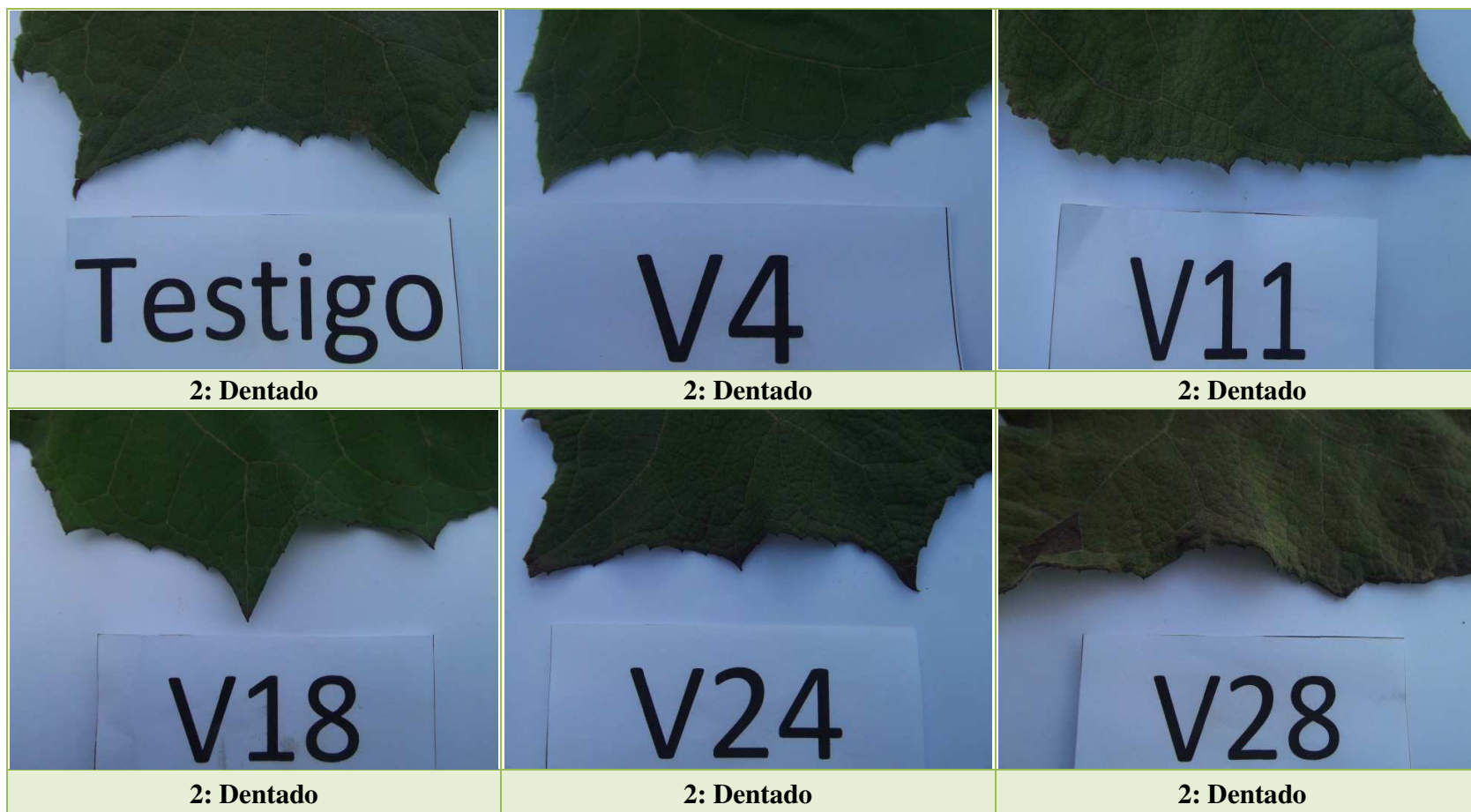
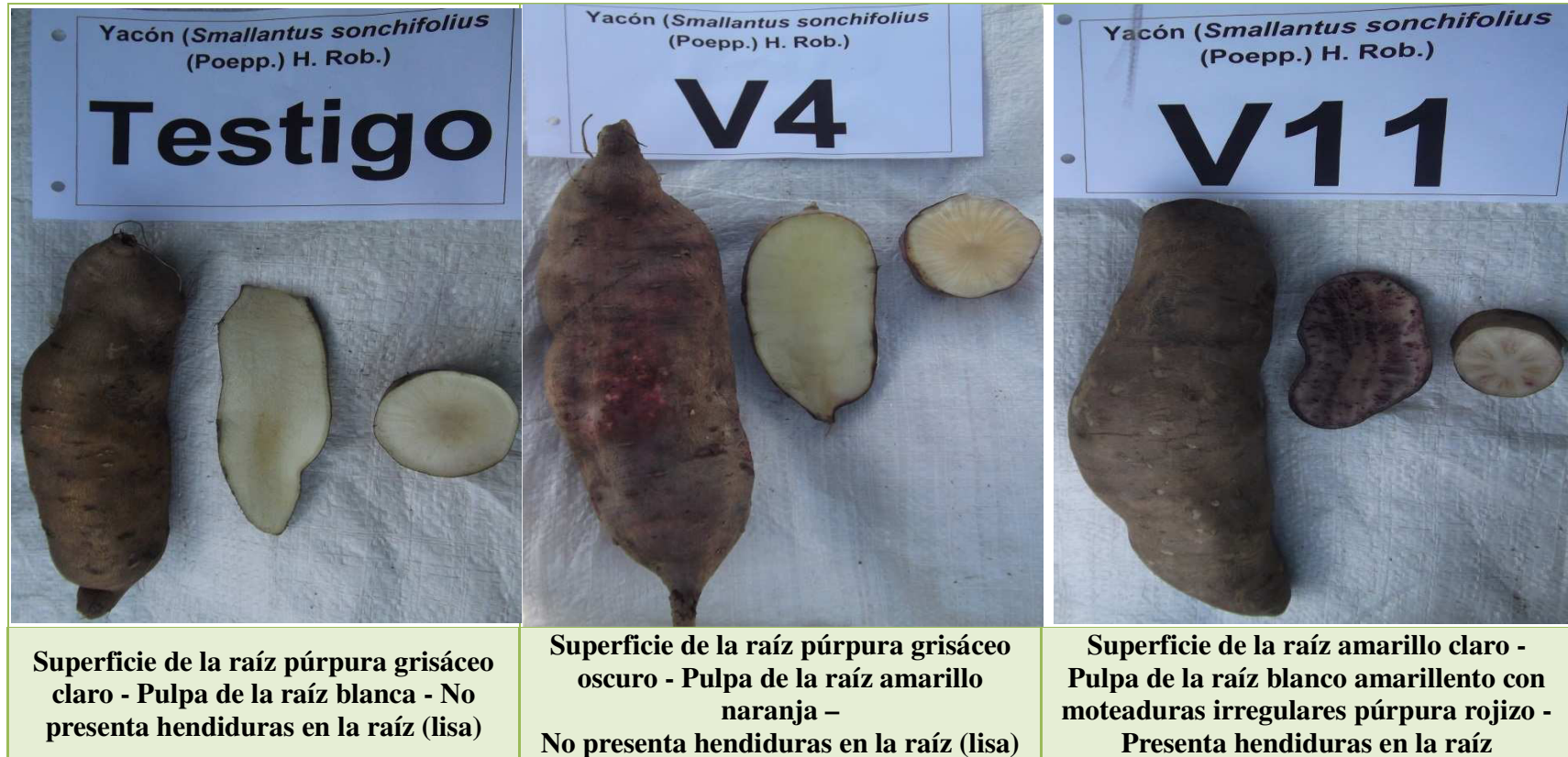


Fig. 22. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor14:

95

Color de la superficie de la raíz reservante, Descriptor 15: Color de la pulpa de la raíz reservante y Descriptor 16: Tendencia a formar hendiduras en las raíces reservantes.





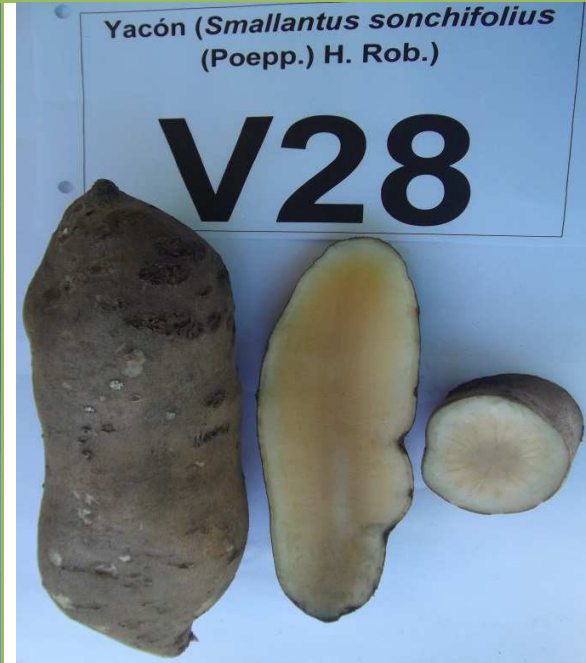
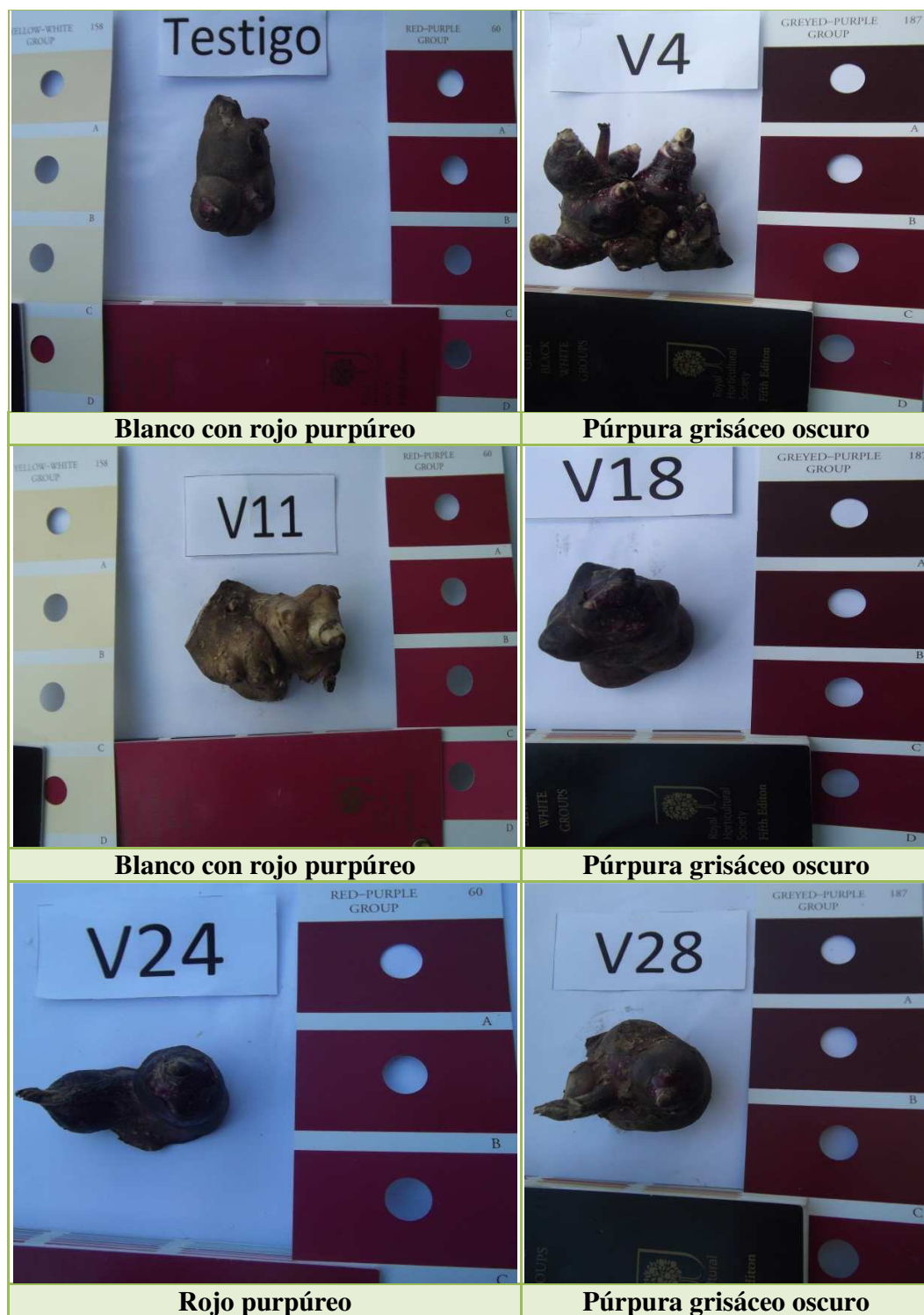
		
<p>Superficie de la raíz púrpura grisáceo claro - Pulpa de la raíz naranja claro – Presenta hendiduras en la raíz</p>	<p>Superficie de la raíz púrpura grisáceo oscuro - Pulpa de la raíz amarillo naranja - Presenta hendiduras en la raíz</p>	<p>Superficie de la raíz amarillo claro - Pulpa de la raíz amarillo naranja - No presenta hendiduras en la raíz (lisa)</p>

Fig. 23. Resultados de la Caracterización Morfológica de las variedades de yacón empleadas como parentales para el Descriptor 17: Color de los propágulos



ANEXO 3

Catálogo Fotográfico: Caracterización

Morfológica de los Híbridos de yacón

(*Smallanthus sonchifolius*)

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
1.1	PGO	NC	A	No determinado
1.2	PGO	NC	A	No determinado
2.1	PGO	NC	A	No específico
2.2	PGO	BA	A	Alterada

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 1.1



Híbrido 1.2



Híbrido 2.1



Híbrido 2.2

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
2.3	PGO	AN/NC	A	No específico
3.1	PGO	AC	A	Positivo
3.2	AC	BA	A	Positivo
3.3	PGO	AC	P	Positivo

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 2.3



Híbrido 3.1



Híbrido 3.2



Híbrido 3.3

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
3.4	AC	BA	A	Positivo
4.1	PGO	NC	A	Positivo
4.2	AC/PGC	BA/AC	A	Positivo
4.3	AC/PGC/PGO	BA/NC	A	Positivo

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 3.4



Híbrido 4.1



Híbrido 4.2



Híbrido 4.3

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
5.1	PGC/PGO	B/NC	A	Positivo
5.2	PGC/PGO/AV	BA/AN/NC	A	Positivo
5.3	PGC	BA	A	Positivo
5.4	AC	B	A	No determinado

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 5.1



Híbrido 5.2



Híbrido 5.3



Híbrido 5.4

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
5.5	PGO	NC	A	Positivo
5.6	PGO	AN	A	Positivo
5.7	PGO	AN	P	Positivo
5.8	PGC	AN/NC	A	Positivo

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 5.5



Híbrido 5.6



Híbrido 5.7



Híbrido 5.8

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
5.9	PGO	NC	A	Positivo
5.1	PGO	AN	A	Positivo
5.11	PGC/PGO	AN/NC	A	Positivo
5.12	PGO	AN/NC	A	Positivo

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 5.9



Híbrido 5.10



Híbrido 5.11



Híbrido 5.12

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
5.13	PGO	AC	P	Positivo
5.14	PGO	AN/NC	A	Positivo
5.15	PGO	B/AN/NC	A	Positivo
5.16	PGC	NC	A	Positivo

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 5.13



Híbrido 5.14



Híbrido 5.15



Híbrido 5.16

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
6.1	AC	AC	A	Positivo
6.2	AC	BA	A	Positivo
7.1	PGC	BA/NC	A	Positivo/Alterada
7.2	PGC	NC	A	Alterada

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 6.1



Híbrido 6.2



Híbrido 7.1



Híbrido 7.2

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
7.3	PGC	NC	A	Alterada
7.4	PGO	NC	A	Alterada
8.1	PGO	AN	A	Positivo
8.2	PGO	BA	A	Alterada

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 7.3



Híbrido 7.4



Híbrido 8.1



Híbrido 8.2

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
8.3	PGO	BA	A	Alterada
8.4	PGO	NC	A	Positivo
9.1	PGC	NC	A	No determinado
9.2	PGC	NC	A	No determinado

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 8.3



Híbrido 8.4



Híbrido 9.1



Híbrido 9.2

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
9.3	PGO	BA/AN	A	Positivo
9.4	PGO	AN	A	No determinado
9.5	PGO	BA/AN	A	Positivo
9.6	AC	AN	P	Positivo

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 9.3



Híbrido 9.4



Híbrido 9.5



Híbrido 9.6

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
9.7	PGO	BA/AN	A	Positivo
9.8	PGO	NC	A	No determinado
9.9	PGO	AN/NC	A	No determinado
10.1	AC/PGO	AN/NC	A	Alterado/No específico

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 9.7



Híbrido 9.8



Híbrido 9.9



Híbrido 10.1

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
10.2	PGO	NC	A	No específico
10.3	PGO	AN	A	No específico
10.4	PGO	AC	A	No específico
10.5	PGO	NC	A	No específico

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 10.2



Híbrido 10.3



Híbrido 10.4



Híbrido 10.5

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
10.6	PGO	AN/NC	A	No específico
10.7	PGO	NC	A	No específico
11.1	AC/PGO	BA/AN	A	Alterada/Positivo
11.2	PGO	AN	A	Positivo

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 10.6



Híbrido 10.7



Híbrido 11.1



Híbrido 11.2

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
11.3	PGC	NC	A	Positivo
11.4	PGO	AN/NC	A	Positivo
12.1	PGO	AN	A	Positivo
12.2	PGO	AN/NC	A	Positivo

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 11.3



Híbrido 11.4



Híbrido 12.1



Híbrido 12.2

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
12.3	PGC	BA	A	Positivo
12.4	PGO	NC	A	Positivo
12.5	PGO	NC	A	Positivo
12.6	PGO	NC	A	Positivo

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 12.3



Híbrido 12.4



Híbrido 12.5



Híbrido 12.6

Descripción Morfológica

Código de híbridos	Color de superficie	Color de pulpa	Presencia de hendiduras	Status de Hibridación
13.1	PGC	AC	A	Positivo
13.2	PGC	BA	A	Positivo
13.3	AC/PGO	AC/AN	A	Positivo/Alterada
13.4	AC	NC	A	Alterada

Leyenda:

A = Ausente; P = Presente; PGO = Púrpura grisáceo oscuro; PGC = Púrpura grisáceo claro; AN = Amarillo naranja; NC = Naranja claro; B = Blanco; BA = Blanco amarillento; BA-MPR = Blanco amarillento con moteaduras irregulares púrpura rojizo; AV = Azul violeta.



Híbrido 13.1



Híbrido 13.2



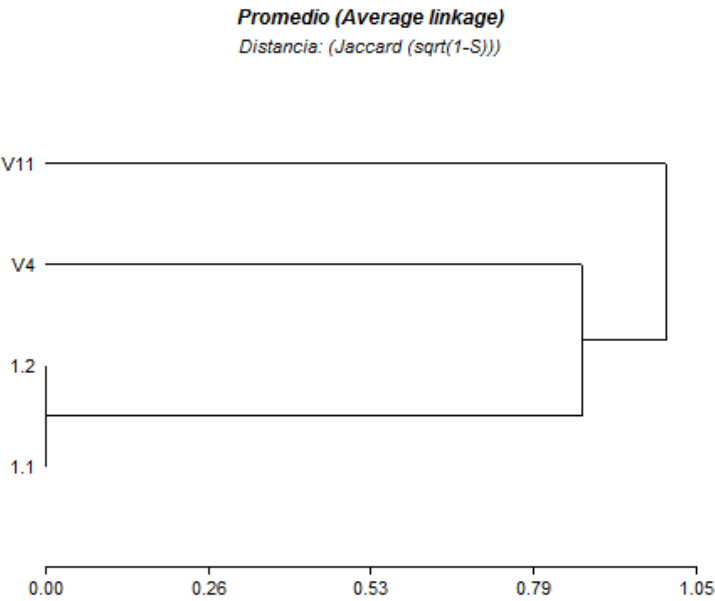
Híbrido 13.3



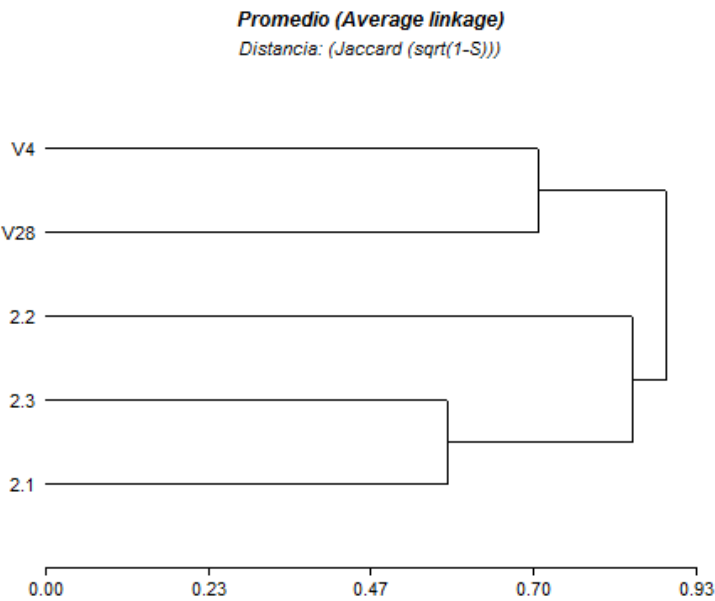
Híbrido 13.4

ANEXO 4

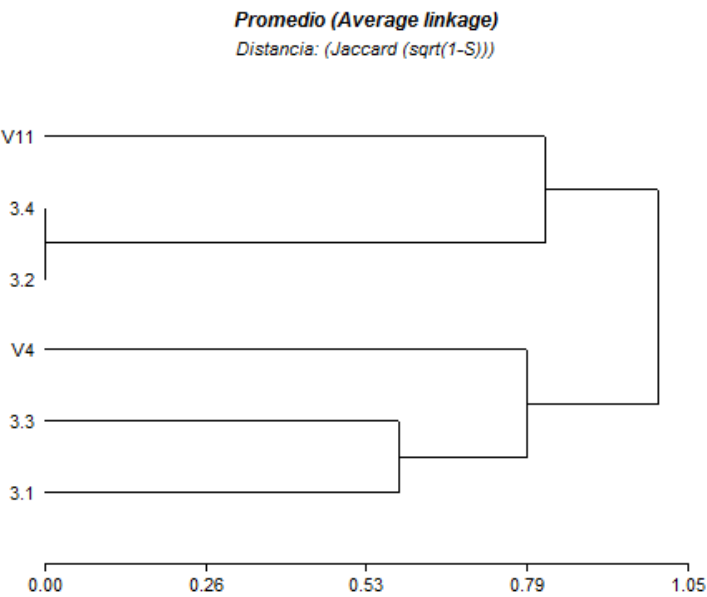
Análisis Estadístico de los Híbridos de Yacón



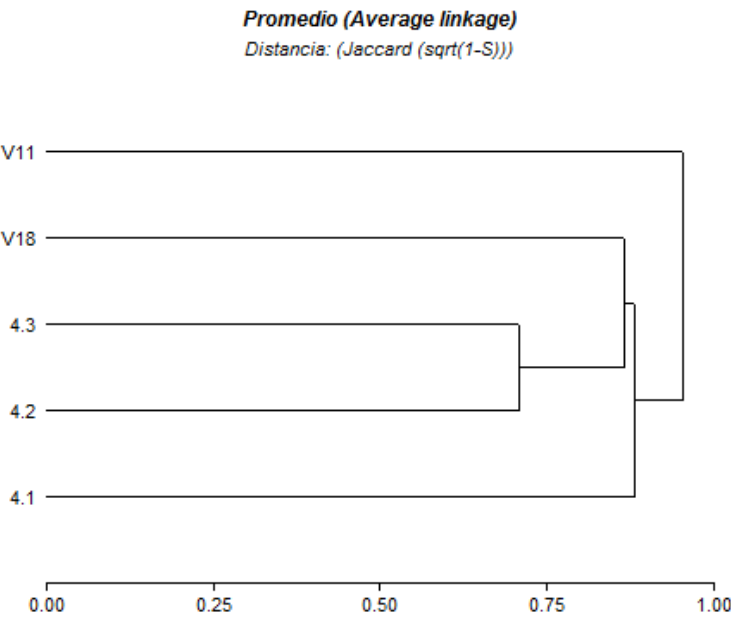
Cruzamiento: V4 x VII



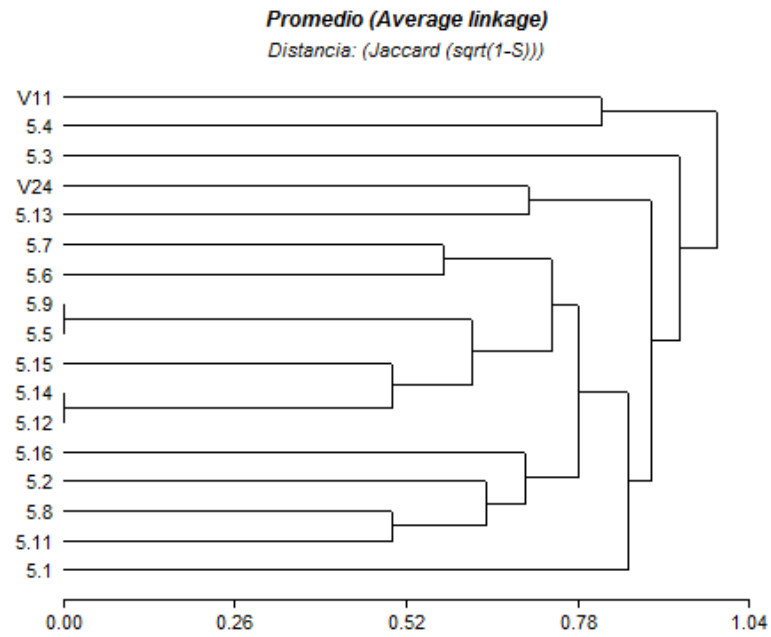
Cruzamiento: V4 x V28



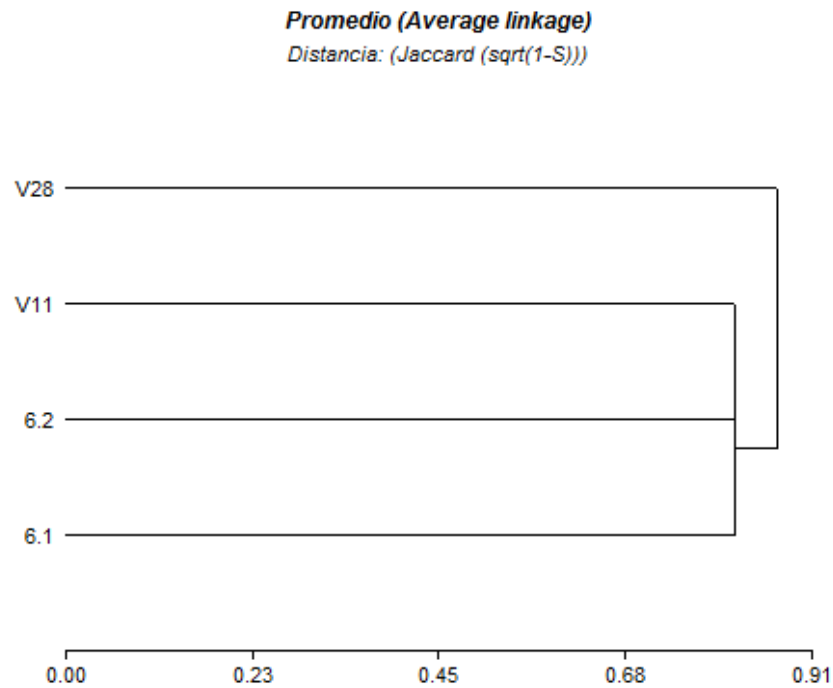
Cruzamiento: VII x V4



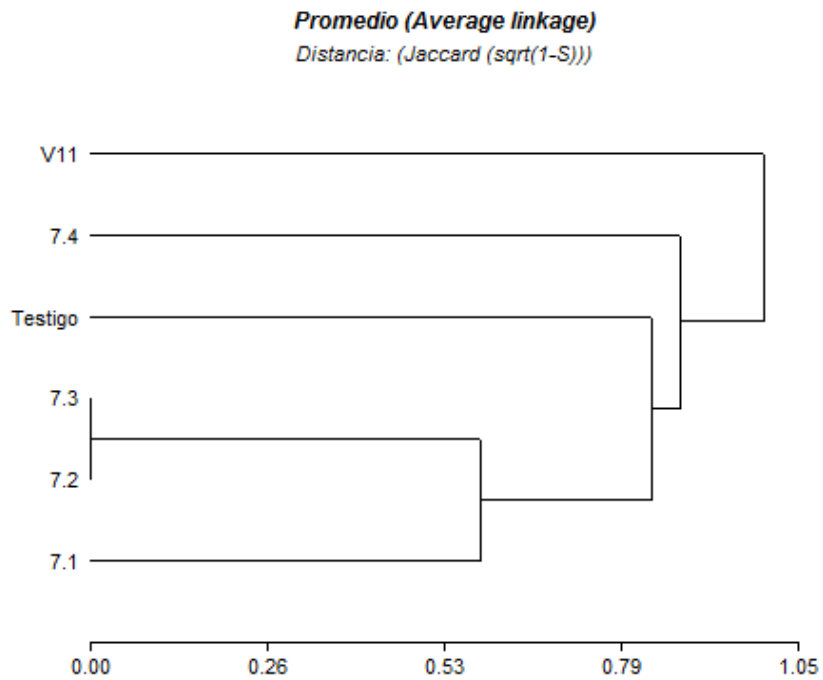
Cruzamiento: VII x V18



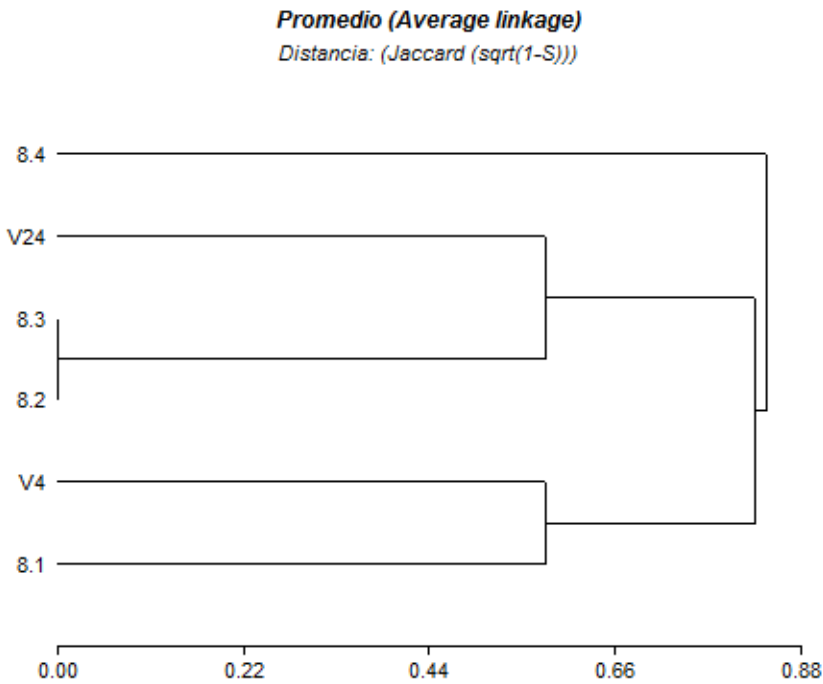
Cruzamiento: VII x V24



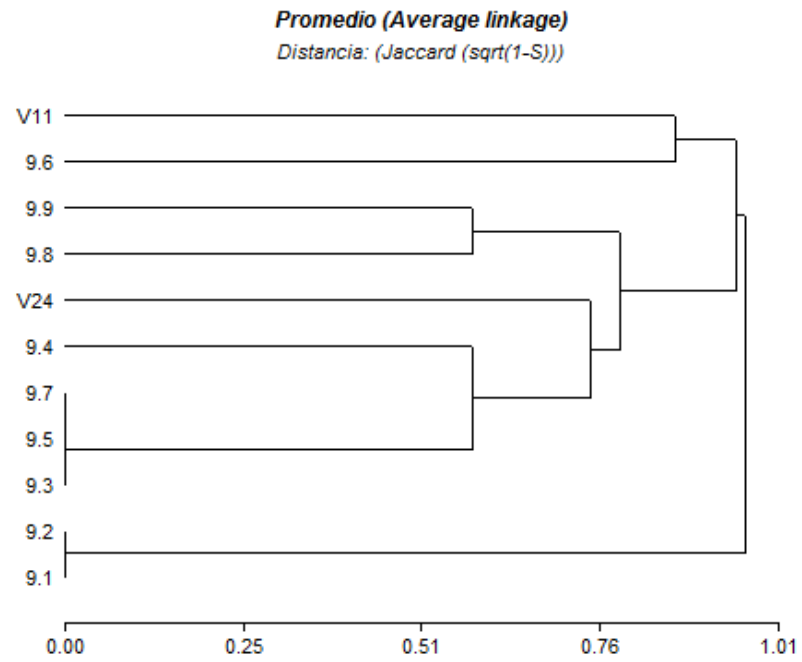
Cruzamiento: VII x V28



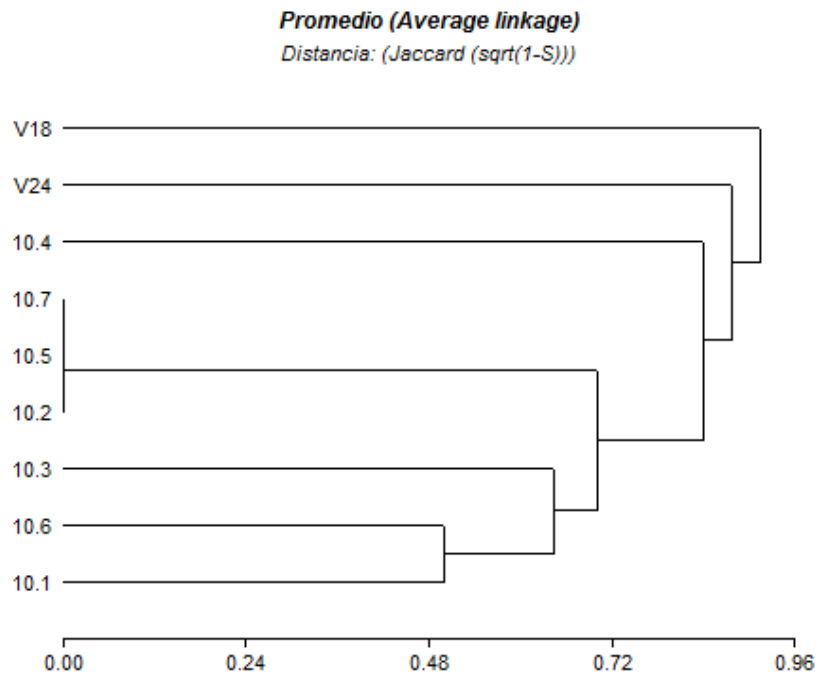
Cruzamiento: *V11 x Testigo*



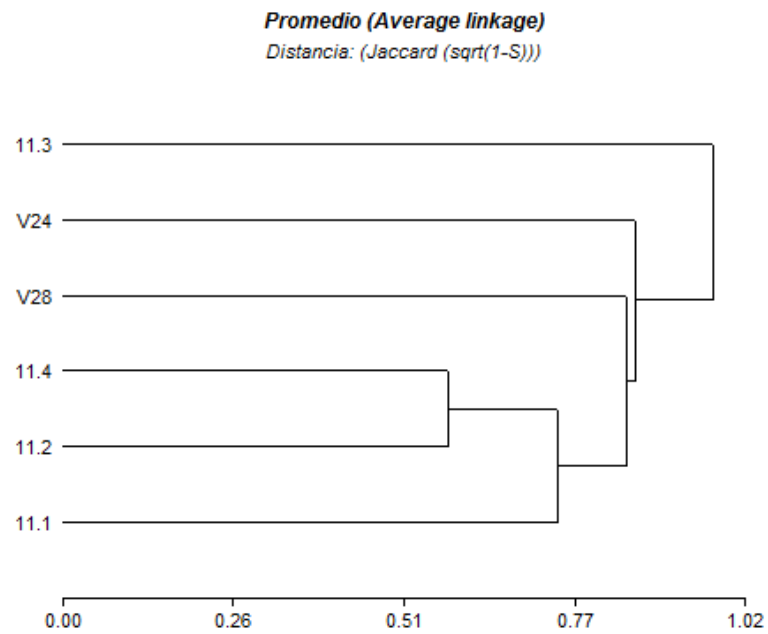
Cruzamiento: *V24 x V4*



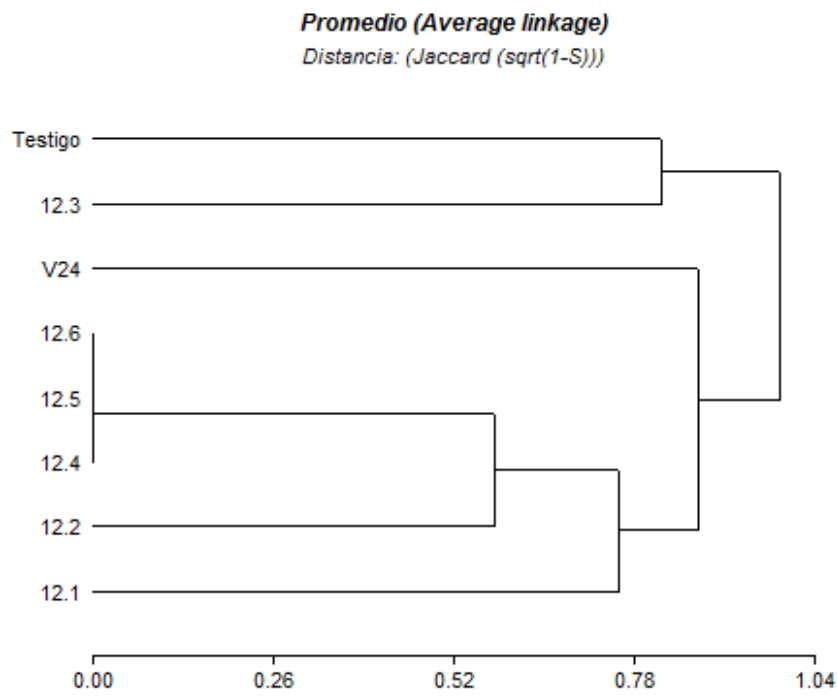
Cruzamiento: V24 x V11



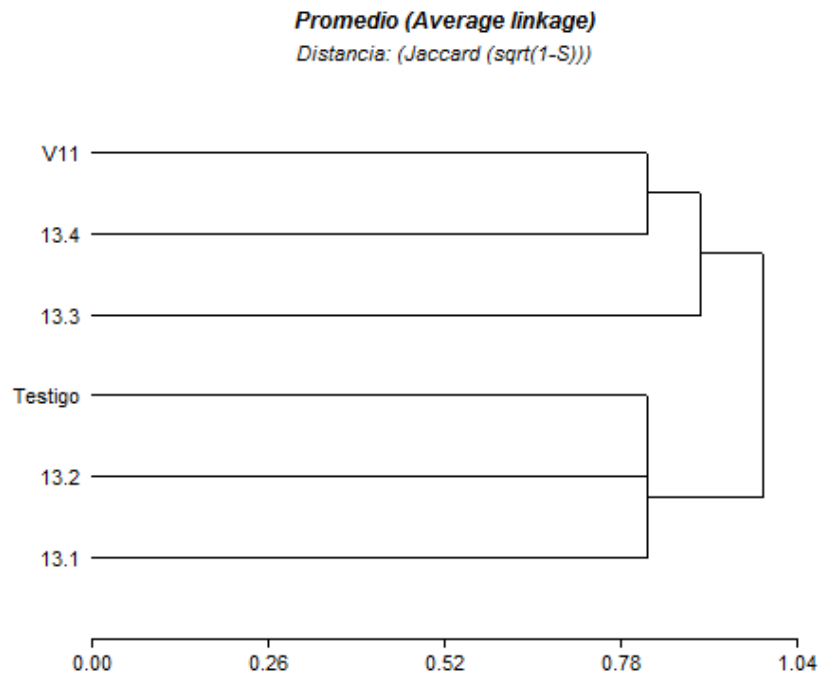
Cruzamiento: V24 x V18



Cruzamiento: V24 x V28



Cruzamiento: V24 x Testigo



Cruzamiento: *Testigo x VII*